

**Universidade do Minho**

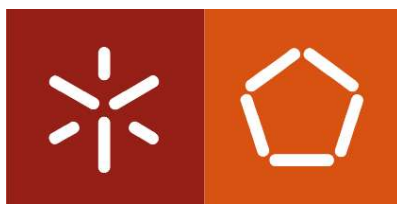
Escola de Engenharia

Maria Eduarda da Silva Macedo

**Gestão de ativos num projeto de  
reabilitação urbanística com recurso  
a metodologias BIM**

19 de dezembro de 2017





**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Maria Eduarda da Silva Macedo

**Gestão de ativos num projeto de  
reabilitação urbanística com recurso a  
metodologias BIM**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação de  
Professor Doutor João Pedro Maia Couto  
Engenheiro Francisco Reis

19 de dezembro de 2017





## AGRADECIMENTOS

Com a conclusão deste trabalho destaco diversas pessoas que contribuíram com a sua presença, deixando aqui expresso o meu mais profundo agradecimento.

Ao orientador deste trabalho, Professor Doutor João Pedro Maia Couto, que me concedeu a honra de me acompanhar na dissertação de Mestrado. Destaco a sua disponibilidade imediata, fundamentais para a organização de diversas temáticas assim como a oportunidade de participar num estágio curricular na empresa BIMMS.

Ao Coorientador, Engenheiro Francisco Reis, pelas reuniões enriquecedoras que tanto contribuíram para o meu modo de encadear pensamentos e ações, a par de todo o rigor científico transmitido.

Ao Engenheiro José Carlos Lino que contribuiu com ideias e ações fulcrais no encadeamento desta dissertação. O meu sincero agradecimento por toda a sua disponibilidade e pela oportunidade de participar em atividades científicas e académicas.

Um especial obrigado ao Arquiteto Tiago Delgado da Propósito e Tiago Queiroz da RigorDouro pelo suporte, dedicação, interesse na temática e disponibilidade da realização da nuvem de pontos.

Aos meus pais pela confiança que depositam em mim, que embora não o expressando diariamente, sei que acreditam e ficam felizes com as conquistas dos seus filhos.

Aos meus irmãos e avós pelo constante apoio, paciência e carinho.

Aos meus amigos, companheiros e colegas de trabalho Catarina Silva, Bruno Vaz, Henrique Pires, João Santos e João Alves por todo o apoio, acompanhamento e troca de ideias durante o trabalho desenvolvido.



## RESUMO

As intervenções de reabilitação visam aumentar os níveis de qualidade de um edifício existente para que este se ajuste aos padrões de desempenho mais elevados e para prolongar a sua vida útil. Esta adaptação pode levar a novos usos e transformações significativas no edifício, pelo que é necessário organizar todas estas novas informações de modo a alcançar a sua gestão eficaz.

Para tal, são necessários métodos de levantamento de edifícios existentes, que recolham de modo eficaz e expedito a informação geométrica, como é o caso da fotogrametria. Adicionalmente, as bases de dados municipais fornecem informações como o estado dos edifícios e os seus usos.

No presente trabalho, com recurso à metodologia BIM como fonte de organização e gestão da informação, foi realizado um modelo de objetos de um conjunto de edifícios na Área de Reabilitação da Campanhã e identificadas as suas potencialidades como ferramenta de apoio para os serviços dos municípios, permitindo o registo da informação tais como o estado de conservação e a função do edificado.

Conclui-se que o recurso a ferramentas BIM nestes projetos de planeamento urbano é vantajoso, pois alia a representação tridimensional dos objetos urbanos ao acesso à informação não geométrica destes, constituindo um suporte claro de apoio à tomada de decisão nas atividades de reabilitação urbana.

**Palavras-chave:** *Building Information Modeling*, modelo BIM do existente, fotogrametria, reabilitação urbana.





## **ABSTRACT**

Rehabilitation interventions aim to increase the quality levels of an existing building so that it conforms to the highest performance standards and to extend its lifespan. This adaptation can lead to new building uses and significant construction transformations, whereby it is necessary to organize all this new information in order to achieve its effective management.

To this end, methods of surveying existing buildings, which efficiently and expeditiously collect geometric information, such as photogrammetry. In addition, as municipal databases, information on the state of the buildings and their uses.

In the present work, using a BIM methodology as a source of organization and information management, a model of objects of a set of buildings in the Campanhã Rehabilitation Area was elaborated and identified as its potential as a support tool for the services of the municipalities, Allow or record information on the conservation status and function of the building.

In conclusion, the use of BIM tools in urban planning projects is advantageous because, in addition, a three-dimensional representation of urban objects to access non-geometric information, constituting a clear support to decision-making in urban rehabilitation activities.

**Keywords:** Building Information Modeling, as-is BIM model, photogrammetry, urban rehabilitation.



# ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ÍNDICE GERAL .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE TABELAS .....	xi
SIGLAS E ACRÓNIMOS.....	xiii
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivos da dissertação .....	3
1.3. Organização e Metodologia da dissertação .....	4
2. ESTADO DA ARTE .....	7
2.1. Reabilitação urbana em Portugal .....	7
2.1.1. Noção de reabilitação urbana e apoios monetários .....	7
2.1.2. Classificação de intervenções de reabilitação .....	8
2.1.3. Preço da habitação por área útil.....	10
2.2. Técnicas de levantamento do existente.....	12
2.2.1. Levantamento manual e tradicional.....	13
2.2.2. Fotogrametria .....	15
2.2.3. Reconstrução fotogramétrica e aquisição da nuvem de pontos.....	18
2.2.4. Tipos de fotogrametria.....	21
2.2.5. Normas para a aplicação da imagem 3D em ambiente BIM .....	22
2.2.6. Interoperabilidade da fotogrametria com BIM.....	24
2.2.7. Laser scanning .....	30
2.2.8. Aplicações da fotogrametria e do laser scanning .....	34
2.2.9. Fotogrametria versus laser scanning.....	36
2.3. City Information Modeling.....	40
2.3.1. Building Information Modeling .....	42
2.3.2. Interoperabilidade do BIM .....	42
2.3.3. Level of Development - BIM .....	46
2.3.4. Geographic Information Systems .....	48
2.3.5. Level of Detail - CIM .....	52
2.3.6. Integração BIM-GIS .....	55

3. ANÁLISE E SELEÇÃO DO CASO DE ESTUDO .....	58
3.1. Introdução .....	58
3.2. Bases de dados .....	60
3.3. Área de reabilitação urbana da Campanhã .....	62
3.4. Informação não geométrica .....	65
4. RECURSO A FERRAMENTAS BIM .....	67
4.1. Introdução .....	67
4.2. Levantamento do existente .....	68
4.3. Modelação do existente .....	75
4.4. Modelo dos edifícios com usos futuros .....	83
5. GESTÃO DO PROJETO DE REABILITAÇÃO .....	86
5.1. Introdução .....	86
5.2. Necessidade de um modelo de gestão .....	87
5.3. Áreas úteis .....	88
5.4. Atribuição de valores monetários .....	89
5.5. Resultados obtidos .....	90
5.6. Limitações.....	92
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPETIVAS FUTURAS.....	93
6.1. Considerações finais .....	93
6.2. Perspetivas futuras .....	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	96
ANEXOS .....	103
Anexo I - Diagnóstico do edifício Z1_E01 presente no Balcão Virtual da CMP.....	103
Anexo II - Autorização de voo.....	105
Anexo III - Diagnóstico dos edifícios em formato de tabela .....	107
Anexo IV - Extração de quantidades e informações do modelo do existente .....	107
Anexo V - Extração de quantidades e informações do modelo do existente.....	111
Anexo VI - Cálculo do valor de reabilitação e do valor de rentabilidade .....	113

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Investimento público por programas no período de 1998 a 2006 (Valores em Euros)	1
Figura 2. Procedimento usado para a realização desta dissertação.	5
Figura 3. Localização das Áreas de Reabilitação Urbana	8
Figura 4. Métodos de criação de modelo BIM para edifícios existentes, adaptado	12
Figura 5. Principais técnicas de levantamento de edifícios existentes, adaptado	13
Figura 6. História da fotogrametria e da correspondência de imagens	16
Figura 7. Principais fases da fotogrametria.	17
Figura 8. Pontos de ligação numa única figura (esquerda) e num bloco de imagens (direita).	19
Figura 9. Utilização de pontos fixos: de controlo (vermelho) e de amarração (amarelo)	19
Figura 10. Cálculo das coordenadas finais	20
Figura 11. Nuvem de pontos fotogramétrica colorida.	21
Figura 12. Exemplo de uma nuvem de pontos do município de Paredes de Coura resultante da fotogrametria aérea vertical (cortesia de Tiago Delgado)	22
Figura 13. Fluxo de trabalho de um projeto de imagem 3D	23
Figura 14. Exemplo de uma nuvem de pontos bruta de um scan individual	25
Figura 15. Comparação de nuvens de pontos obtidas por alguns dos algoritmos	29
Figura 16. <i>Laser scanner</i> modelo P40 da Leica, levantamento do Porto de Leixões feito por Luís Santos em junho 2017	31
Figura 17. Triangulação a laser	32
Figura 18. Metodologia da NURBS	34
Figura 19. Esquema de monitorização do progresso da construção usando a fotogrametria ou o LS [17]	36
Figura 20. Histórico do desenvolvimento do IFC	43
Figura 21. Estrutura do COBie	45
Figura 22. Exemplo do nível de desenvolvimento LOD 100 a 400	47
Figura 23. Recursos necessários e funcionalidades dos GIS, adaptado	48
Figura 24. <i>Data set</i> do CityGML	51
Figura 25. Níveis de detalhe dos modelos da informação da cidade	53
Figura 26. Especificação dos quatro níveis de LOD	54
Figura 27. Recolha de dados para a construção de um City Information Model	56
Figura 28. Metodologia para a seleção do caso de estudo	60

Figura 29. Recorte do website do Balcão Virtual da CMP e da CM de Lisboa .....	61
Figura 30. Delimitação da área de intervenção – Área de Reabilitação Urbana .....	63
Figura 31. Localização do caso de estudo, via <i>Google Earth Pro</i> .....	64
Figura 32. Conjunto de edifícios da Zona 1 Mira, da ARU Campanhã .....	64
Figura 33. Vista do conjunto de edifícios da Zona 1 Mira, da ARU Campanhã.....	65
Figura 34. Edifícios da frente urbana da Rua de Estação, via Google Maps. ....	66
Figura 35. Workflow da interoperabilidade entre a fotogrametria e a aplicação de modelação BIM.....	68
Figura 36. Plano inicial do voo, cortesia de Tiago Delgado .....	69
Figura 37. Levantamento de pontos fixos perto da estação da Campanhã.....	70
Figura 38. Levantamento de ponto para relacionar as coordenadas verticais .....	71
Figura 39. <i>Trimble TSC2</i> , aparelho utilizado para o levantamento de pontos .....	71
Figura 40. Opções de “Novo projeto” no programa <i>Autodesk Recap</i> .....	72
Figura 41. Formatos que podem ser lidos no <i>Recap</i> .....	73
Figura 42. Visualização da nuvem de pontos original no <i>Recap</i> .....	73
Figura 43. Nuvem de pontos limpa .....	74
Figura 44. Visualização da nuvem de pontos no filtro elevation .....	74
Figura 45. Formatos de nuvens de pontos disponíveis para link no <i>Revit</i> .....	75
Figura 46. Opção index file para a importação da NP no seu formato bruto .....	76
Figura 47. Visualização da nuvem de pontos no Revit .....	76
Figura 48. Atribuição de níveis por bloco, originalmente modelados “em cima” da NP .....	77
Figura 49. Atribuição de pisos aos blocos.....	78
Figura 50. Nuvem de pontos e modelo de objetos BIM correspondente .....	78
Figura 51. Planta do modelo BIM do conjunto de edifícios da Campanhã.....	79
Figura 52. Informações relativas ao piso Z1_E66_P1.....	79
Figura 53. Controlo da informação não geométrica no <i>mass floor schedule</i> .....	80
Figura 54. Vista do piso Z1_E58_P1 .....	81
Figura 55. Modelo dos usos futuros e nova configuração .....	85
Figura 56. Metodologia do estudo do investimento num projeto de reabilitação .....	89
Figura 57. Diagnóstico do edifício Z1_E01 presente no Balcão Virtual da CMP .....	103
Figura 58. Diagnóstico do edifício Z1_E01 presente no Balcão Virtual da CMP .....	104
Figura 59. Autorização para a obtenção de imagens aéreas .....	105

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Aplicações principais para fotogrametria e preços das licenças.....	29
Tabela 2. Comparação das características das técnicas laser scanning e fotogrametria, adaptado .....	39
Tabela 3. Módulos do <i>CityGML</i> .....	50
Tabela 4. Visualizadores e API para os modelos <i>CityGML</i> .....	51
Tabela 5. Principais diferenças entre o IFC e o <i>CityGML</i> .....	54
Tabela 6. Controlo de qualidade das áreas obtidas das diferentes fontes.....	82
Tabela 7. Diagnóstico dos edifícios da Z1_Mira .....	109
Tabela 8. Extração de informações dos pisos existentes.....	107
Tabela 9. Extração de informações dos pisos existentes.....	111
Tabela 10. Cálculo do valor de reabilitação e do valor de rentabilidade da venda de imóveis .....	113
Tabela 11. Cálculo do valor de reabilitação e do valor de rentabilidade da aluguer de imóveis .....	<b>Erro!</b>

**Marcador não definido.**





## SIGLAS E ACRÓNIMOS

2D - Bidimensional

3D - Tridimensional

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

ARU - Áreas de Reabilitação Urbana

API – Interface de Programação de Aplicação

ASPRS - *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

BIM - *Building Information Modeling; Building Information Model*

B-Rep - *Boundary Representation,*

BSI - *British Standards Institution*

CAD - *Computer Aided Design*

CCD - *Charge-coupled device*

CityGML - *City Geography Markup Language*

CIM - *City Informaion Modeling*

CMM – *Capability Maturity Model*

CMP – Câmara Municipal do Porto

COBie - *Construction Operations Building Information Exchange*

COBIM – *Common BIM Requirements*

CSG - *Constructive Solid Geometry*

EDM – *Electronic Distance Measurement*

DE – *Digital Earth*

DEM – *Digital Earth Model*

ESRI - *Environmental Systems Research Institute*

FM - *Facilities Management*

FME - *Feature Manipulation Engine*

GIS - *Geographic Information System*

GIS - *Geographic Information Science*

GML - *Geography Markup Language*

GNSS - *Global Navigation Satellite System*

GSA – *U.S. General Services Administration*  
 IDM - *Information Delivery Manual*  
 IFC - *Industrial Foundation Class*  
 IFD - *International Framework of Dictionaries*  
 IFG - *IFC for GIS*  
 IHRU - *Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana*  
 ISO - *International Organization for Standardization*  
 LADAR – *Laser Detection and Ranging*  
 LAS- *LASer File Format*  
 LIDAR – *Light Detection and Ranging*  
 LOD - *Level of Development*  
 LS – *Laser scanning*  
 MB - *Megabytes*  
 MEP – *Mechanical, Electrical and Plumbing*  
 MVD – *Model View Defenition*  
 mvdXML - *Model View Defenition Extensible Markup Language*  
 MVS - *Multi-view Stereo*  
 NBIMS - *National BIM Standard*  
 NBS – *National Building Specification*  
 NP – *Nuvem de pontos*  
 OGC - *Open Geospatial Consortium*  
 ORU – *Operação de Reabilitação Urbana*  
 PAS - *Publicly Available Specifications*  
 Pc - *Preço da habitação por metro quadrado de área útil*  
 PDM – *Plano Diretor Municipal*  
 PMVS - *Patch-Based Multi-View Stereo*  
 RFID – *Radio-Frequency Identificación*  
 RGB – *Red, Green, Blue*  
 SfM – *Structure from Motion*  
 SGM - *Semi-Global Matching*  
 STEP - *Standard for the Exchange of Product data*  
 SURE - *photogrammetric SURface REconstruction from imagery*  
 UFGS - *Unified Facilities Guide Specifications*  
 XML - *Extensible Markup Language*

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

As áreas urbanas estão em constante mudança, deixando de ser estáticas, nunca finalizadas, sempre a ajustarem-se às novas circunstâncias. Nos últimos anos verificou-se uma rápida deslocação de habitantes aos centros das cidades devido às várias atividades que estas abrigam: serviços, habitação, segurança, interação política e social, venda e troca de bens [1].

Ao contrário de outros países europeus, onde o apoio à reabilitação representa uma prioridade significativa, em Portugal as medidas legislativas são um processo burocratizado e o congelamento das rendas, a inércia dos proprietários, entre outros fatores, têm impedido um melhor progresso da aplicação deste tipo de medidas. A Figura 1. representa o investimento monetário público nos programas de apoio à construção e habitação, sendo que a reabilitação representava o setor menos apoiado e nos últimos anos tem vindo a ser incrementado [2].

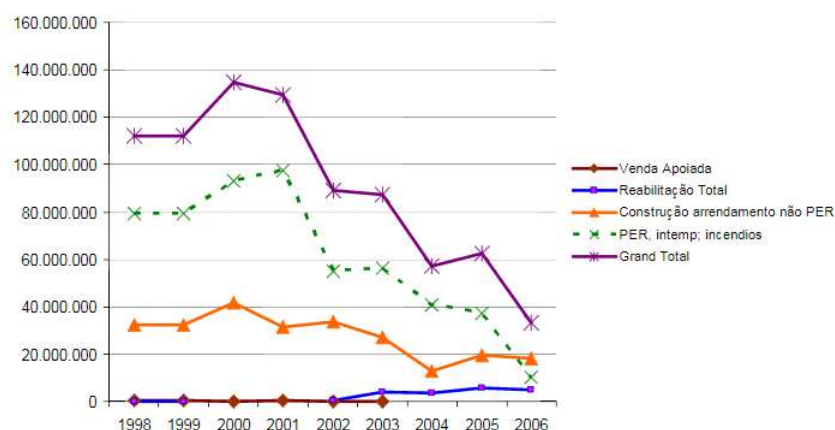


Figura 1. Investimento público por programas no período de 1998 a 2006 (Valores em Euros) [2]

Apesar da vasta oferta de programas de apoio para a reabilitação provida pelo IHRU, Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, ainda se verifica a falta de investimento nas áreas de reabilitação urbana, por escassez de recursos e a atual legislação relativa à reciclagem e a eficiência dos resíduos na construção de edifícios. Em Portugal, as perspetivas para o futuro são positivas principalmente para a requalificação de áreas urbanas. O conceito de reabilitação urbana deve ser encarado como uma ação mais abrangente, que ultrapasse as intervenções nos centros históricos e nas áreas mais centrais das cidades, e se alargue a outros espaços

consolidados em que se verifique a necessidade de se desenvolverem estratégias integradas de requalificação e revitalização do tecido urbano. O Porto é um exemplo desse desenvolvimento, tendo muitos edifícios desabitados que foram ignorados ao longo dos anos e hoje em dia estão a ser reconstruídos e adaptados para novos usos. As zonas menos exploradas, como antigos edifícios fora da zona central urbana, são mais desejáveis por apresentarem maior disponibilidade espacial para crescer e acrescentar valor [1].

Paralelamente, a procura de soluções construtivas alternativas tem influenciado na modernização das cidades, resguardando os valores tradicionais. Uma das respostas a esta problemática é a utilização das tecnologias da informação, mais precisamente aplicadas à AEC, Arquitetura, Engenharia e Construção: as metodologias BIM, *Building Information Modeling*. O BIM é uma representação digital das características funcionais e físicas de um edifício, permitindo a aplicação, manipulação e manutenção de informação relativa a todo seu ciclo de vida através de um modelo de dados virtuais, reduzindo tempos e consequentemente, custos [3]. Para além disso, o BIM deixa de ser um auxílio nos projetos de AEC e começa a tornar-se indispensável, o que contrasta com a política de Portugal: a dificuldade em aceitar e implementar estas tecnologias da informação devido aos custos de aquisição e manutenção do sistema e à incerteza sobre o retorno do investimento [4].

No domínio da reabilitação, os modelos de informação são cada vez mais usados ao longo do ciclo de vida de uma instalação para o planeamento e gestão do espaço e manutenção do edifício [5]. As intervenções de reabilitação visam aumentar os níveis de qualidade de um edifício para que este se ajuste aos padrões de desempenho mais elevados e para prolongar a vida útil dos edifícios existentes através da adaptação das suas formas básicas, resultando numa versão atualizada da estrutura original. Esta adaptação pode levar a novos usos e transformações significativas do edifício, mas não inclui grandes alterações estruturais, como estão presentes em intervenções de reabilitação. No entanto, são necessários métodos de levantamento de edifícios existentes: uns mais tradicionais, e outros mais próximos do automatismo, neste caso a fotogrametria, que recorre a fotografias para extrair informação precisa e detalhada para a formação de uma nuvem de pontos, que representa uma fonte essencial para a modelação do edifício. Por outro lado, um modelo da cidade CIM, *City Information Model*, alia as tecnologias BIM e de sistemas geográficos, para a modelação de toda a informação da cidade. O uso destas tecnologias ainda é muito limitado na gestão de ativos imobiliários, baseando-se maioritariamente na visualização [6].

O tema desta dissertação consiste no recurso às ferramentas BIM, com o propósito de extrair as informações do existente num quarteirão da ARU da Campanhã. Juntamente com os dados fornecidos pela Câmara Municipal do Porto, são realizados dois modelos de um conjunto de edifícios: um com a disposição e usos atuais e o outro representativo da alteração da configuração e usos, representando o modelo futuro, para a manipulação da informação do quarteirão com o intuito de fornecer uma metodologia de melhor controlo de operações de reabilitação, explicado na Figura 2.

Todo o trabalho foi desenvolvido na empresa BIMMS: *Building Information Modeling Management Solutions*, que apoiou todo este estudo através do conhecimento e experiência dos seus colaboradores.

## **1.2. Objetivos da dissertação**

A presente dissertação tem como objetivo fulcral a integração do uso de ferramentas BIM como suporte aos planos urbanísticos, para facilitar a sua gestão e potenciar a tomada da decisão de investidores em edifícios localizados em áreas de reabilitação urbana. Esta integração permitirá o conhecimento da informação existente do edificado e também relacionar esses dados com o potencial urbanístico da zona, interligado com uma análise futura de investimento e a rentabilidade do mesmo. Ou seja, ao longo da dissertação, são criadas as condições necessárias para uma análise de potenciais zonas de edificado a reabilitar, sabendo o preço dessas operações e a rentabilidade futuramente nessa área.

Durante o processo da dissertação, no sentido de atingir este objetivo, ao anteriormente mencionado é realizada o estudo dos métodos de levantamento de edifícios existentes, de modo a posteriormente se produzir informação precisa e compatível para ser analisada num modelo BIM.

O resultado a atingir é o estudo da transformação de um edifício antigo para novo, adaptado à legislação e ao conforto atuais, sabendo as áreas de construção, as áreas técnicas não vendáveis e todos os custos inerentes a esta transformação. Pretende-se, com esta dissertação, o levantamento de um quarteirão com potencial urbanístico identificado na ARU da Campanhã, Porto, para a aproximar a um modelo de *City Information Modeling*, e apresentar a informação de uma área urbana edificada para melhor gestão da reabilitação.

### 1.3. Organização e Metodologia da dissertação

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos e a sua metodologia de investigação incide na integração e utilidade das ferramentas BIM na gestão de projetos de reabilitação, através de dois modelos BIM de um conjunto de edifícios: o atual e futuro modelo com alteração dos usos, e a manipulação das informações para um documento a partir dos dois modelos. Uma vez que através de obtenção mais rápida e precisa de áreas e a possibilidade de lhes atribuir um preço de acordo com o tipo de reabilitação e o tipo de transformação para o uso futuro, estas informações representarão uma base para atribuir um investimento e a rentabilidade futura através deste estudo. Toda a metodologia está sequenciada nos seguintes capítulos:

**Capítulo 1:** o presente capítulo refere-se ao se enquadramento do estudo desenvolvido nesta dissertação, os principais objetivos, a estrutura deste trabalho e a metodologia abordada para a realização da dissertação.

**Capítulo 2:** é referente ao estado da arte. É realizada uma abordagem à reabilitação em Portugal, no sentido de atribuir um valor percentual às áreas técnicas para o cumprimento de condições de conforto atuais após a transformação de um edifício existente e a classificação de intervenções de reabilitação e valor monetário associado. Posteriormente, no sentido de atingir o objetivo de recolha de informação do existente, foram analisadas as técnicas de levantamento de edifícios existentes e a inserção e compatibilidade destas metodologias nas tecnologias BIM, sendo mais incidente na técnica da fotogrametria. Para finalizar, foi estudado o conceito de *City Information Modeling*, onde é necessária a aplicação das técnicas de levantamento, a interação com metodologias BIM e tecnologias GIS para se proceder a uma modelação e gestão de uma cidade.

**Capítulo 3:** é realizada um estudo teórico-experimental no qual são analisadas bases de dados com interesse económico e cultural para a reabilitação urbana, com o objetivo de preparação da informação do modelo. Foram estudados documentos disponíveis para a reabilitação do edificado em *websites* municipais, neste caso a Câmara Municipal do Porto. Este capítulo é composto por três fases de desenvolvimento sequenciais: (i) considerações gerais sobre as áreas de reabilitação; (ii) o processo para a análise da documentação disponível: este procedimento passou inicialmente pelo estudo de áreas urbanas na cidade do Porto através de várias ferramentas visuais e de documentos disponíveis na Câmara Municipal do Porto, como as zonas de áreas de reabilitação urbana; e (iii) escolha do quarteirão, baseada em interesses

financeiros e culturais, identificando a informação necessária para ser posteriormente utilizada num modelo de informação.

**Capítulo 4:** é realizado o estudo exploratório, onde se recorre a metodologias BIM para posteriormente ser feita a visualização, atribuição e extração de informações, através das seguintes fases: (i) reflexão prática da metodologia experimentada no levantamento do caso de estudo pela técnica de fotogrametria e formação da nuvem de pontos e tratamento desta para posteriormente servir de fonte de informação geométrica para o modelo BIM; (ii) exportação da nuvem de pontos para um *software* BIM, a modelação e atribuição de informação disponível do quarteirão, apoiada na nuvem de pontos e nos documentos disponíveis da Câmara e a extração de informações do modelo a partir da aplicação de modelação BIM e o controlo de qualidade dessas informações, comparando com os dados iniciais da CMP e (vii) elaboração de um modelo correspondente a transformações futuras nos edifícios.

**Capítulo 5:** é realizado um estudo prático, ou seja, o uso do modelo e a manipulação da informação do projeto de reabilitação após a modelação numa aplicação BIM, através da atribuição de valores monetários por classificação de intervenção de reabilitação nos pisos do modelo existente. Para o modelo de usos futuros é feita a atribuição de preços por uso dos edifícios reabilitados para o caso de venda e de aluguer.

A metodologia desta dissertação está apresentada na seguinte imagem:

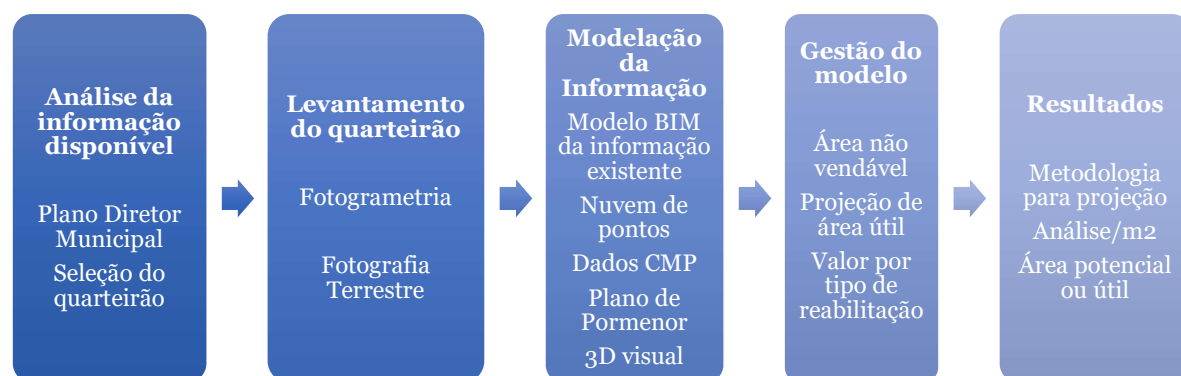


Figura 2. Procedimento usado para a realização desta dissertação.





## **2. ESTADO DA ARTE**

### **2.1. Reabilitação urbana em Portugal**

#### **2.1.1. Noção de reabilitação urbana e apoios monetários**

Segundo o Decreto Lei nº104 de 7 de maio de 2004, entende-se por reabilitação urbana “o processo de transformação do solo urbanizado, compreendendo a execução de obras de construção, reconstrução, alteração, ampliação, demolição e conservação de edifícios, com o objetivo de melhorar as suas condições de uso”, resguardando o seu carácter, assim como outras intervenções que pretendem recuperar e reconverter áreas urbanas críticas [7].

O regime jurídico da reabilitação urbana descreve um conjunto de contribuições que asseguram o sucesso das operações de reabilitação urbana, onde além da transformação dos edifícios degradados, há outras práticas, tais como: (i) a promoção de critérios de eficiência energética nos edifícios; (ii) a reabilitação dos tecidos urbanos; (iii) a melhoria das condições de habitabilidade e de funcionalidade do parque imobiliário; (iv) a modernização e aumento de qualidade das infraestruturas; (v) reabilitar espaços verdes; (vi) a criação e manutenção de espaços e acessibilidades para pessoas com mobilidade reduzida; (vii) a proteção e afirmação do património cultural local; (viii) a importância para a inclusão social e a coesão territorial e (ix) promover a sustentabilidade ambiental, cultural, social e económica dos espaços urbanos [7, 8].

Atualmente em Portugal vigoram como meios de salvaguarda a nível urbano os Planos Diretores Municipais e planos de pormenor, além de outros documentos estratégicos aplicados na sua maioria a regiões do país ou especialmente para municípios, como os casos do IHRU ou do *MasterPlan* para o Porto, respetivamente. Para apoio à reabilitação de edifícios têm contribuído diversos programas de iniciativa do governo: são inúmeros os exemplos de cidades portuguesas que foram e são alvo de operações de reabilitação, embora que muitos casos sejam pontuais e sem estratégias de médio e longo prazo, tais como: os centros históricos das cidades de Guimarães, de Évora e do Porto, entre outras intervenções em centros urbanos. Na Europa existem também diversos exemplos deste tipo de ações a nível urbanístico. Resumindo, é de todo o interesse assegurar a reabilitação urbana por motivos históricos,

culturais, ambientais, sociais, entre outros, que visem garantir novas condições de uso e sustentabilidade destes locais [8].

O IHRU, Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, é um instituto público que tem por missão assegurar a política definida pelo Governo para as áreas da habitação social e reabilitação urbana, providenciando ajudas monetárias, empréstimos com ou sem bonificação de juros concedidos pelo Estado, a financiamentos relativos à construção, arrendamento e aquisição de edifícios, reabilitação urbana, de origem pública ou privada [9]. Os programas de apoio à reabilitação são vários como: Reabilitar para Arrendar; Reabilitar para Arrendar-Habitação Acessível; Instrumento Financeiro para a Reabilitação e Revitalização Urbanas 2020; benefícios fiscais, entre outros inerentes às ARU, Áreas de Reabilitação Urbana [10]:



Figura 3. Localização das Áreas de Reabilitação Urbana [11]

O financiamento pode cobrir até 90% do custo total da operação, em 180 prestações iguais divididas em 15 anos, em que a taxa de juro é fixa durante o período de amortização, sendo 2,9% atualmente. Existem 6 meses de carência de capital após o termo das obras e pode haver um adiantamento até 20% do valor do empréstimo. A única garantia é prestada através de hipoteca sobre o edifício [12].

### 2.1.2. Classificação de intervenções de reabilitação

A determinação do estado de conservação dos edifícios a intervir é crucial para definir posteriormente as estratégias e as soluções a implementar no processo de reabilitação. Independentemente das características de ordem física, histórica, sociocultural e do grau de proteção do edifício, existem diversos fatores que fazem variar a complexidade da intervenção

e os trabalhos construtivos necessários. O *Guião de Apoio à Reabilitação de Edifícios Habitacionais* publicado pelo LNEC, à semelhança de outras publicações, classifica as intervenções em 4 níveis distintos de reabilitação: ligeira, média, profunda e excecional [8].

Na maioria das situações de reabilitação ligeiras envolve pequenas reparações e beneficiações de alguns elementos construtivos e das instalações sanitárias e cozinhas. As características da reabilitação de leve grau, em norma se apresentam como:

- Edifícios em bom estado de conservação;
- Sem necessidade de alterações espaciais, nem estruturais ou pontuais;
- Não obrigam ao realojamento dos residentes;
- Intervenções atrativas e de simples execução;
- Valorizam o imóvel num curto espaço de tempo;
- Mantêm e melhoram componentes existentes;
- Baixo custo: aproximadamente 1/3 do custo por m<sup>2</sup> face a edificação nova [8].

A reabilitação média envolve intervenções mais específicas [8]. Aplica-se a denominação de reabilitação média quando se intervém nos edifícios com as características enumeradas:

- Estado de conservação razoável na generalidade;
- Possibilidade em manter elementos e de reforçar outros;
- Substituição dos elementos degradados, intervindo-se particularmente nos revestimentos, em infraestruturas, alguns elementos estruturais, caixilharias e outros;
- Além de melhorar os componentes existentes existe reestruturação de alguns compartimentos de acordo com as atuais referências de conforto e salubridade;
- Não prevê necessidade de realojamentos, mas com grau de incomodidade e por mais tempo;
- Baixo custo das intervenções, que podem variar entre 1/2 do custo por m<sup>2</sup> de uma habitação nova até aos 2/3 [8].

As intervenções profundas são realizadas sobretudo ao nível estrutural [8]. As suas bases e objetivos são intervenções que satisfaçam os seguintes requisitos:

- Estado de conservação com muitos elementos degradados e sem recuperação;
- Envolve demolições de componentes degradados ou situações de reestruturação espacial;

- Substituição de materiais e componentes por materiais idênticos ou diferentes dos originais;
- Reparações estruturais mais profundas, reestruturando-se espaços interiores;
- Satisfação das exigências funcionais de acordo com o quadro regulamentar atual, permitindo maior conforto e salubridade aos utilizadores;
- Exigência normal de desocupação do edifício, prolongando-se por tempo significativo de intervenção semelhantes aos de obra nova;
- Reabilitação profunda e demolição integral dos interiores aproveitando as fachadas devido a imposições de Plano Diretor Municipal, planos de pormenor de salvaguarda, valores histórico, cultural, artístico ou outro;
- Custos na ordem dos 2/3 do custo por m<sup>2</sup> de habitação nova, podendo ser excedido [8].

A reabilitação excecional tem aplicabilidade em casos pontuais e muito excecionais, envolvendo trabalhos de reabilitação muito profunda, devendo ser equacionada tendo em conta o valor patrimonial do imóvel, respetivo uso e o valor patrimonial dos imóveis adjacentes, ou seja, na sua envolvente [8]. Aplica-se a denominação de reabilitação excecional quando se intervém nos edifícios com as características enumeradas:

- Intervenção complexa que necessita de técnicas de inspeção e de ensaio para diagnóstico e posterior elaboração do projeto;
- Possibilidade de substituição da construção antiga por nova edificação;
- Recurso a técnicas de restauro, sempre que o valor cultural o exija;
- Custo da intervenção ultrapassa largamente o custo por m<sup>2</sup> de uma habitação nova [8].

### **2.1.3. Preço da habitação por área útil**

Os edifícios devem proporcionar a adequação ao uso no que concerne a áreas, dimensões e equipamentos que permitam o desenvolvimento das suas funções, bem como possibilitar o acesso aos espaços que os constituem. As exigências de espaço definem as condições a cumprir para alcançar esse objetivo [13].

No ano de 2014, os preços da habitação, por metro quadrado de área útil (Pc), a que se refere a alínea c) do n.º 2 do artigo 5.º do Decreto-Lei n.º 141/88, de 22 de abril, são, consoante as zonas do País, os seguintes:

- Na zona I: 679,35€– Regiões autónomas e municípios de Almada, Amadora, Barreiro, Cascais, Gondomar, Loures, Maia, Matosinhos, Moita, Montijo, Odivelas, Oeiras, Póvoa do Varzim, Seixal, Sintra, Valongo, Vila do Conde, Vila Franca de Xira e Vila Nova de Gaia;
- Na zona II: 602,92€ - municípios de Abrantes, Albufeira, Alenquer, Caldas da Rainha, Chaves, Covilhã, Elvas, Entroncamento, Espinho, Estremoz, Figueira da Foz, Guimarães, Ílhavo, Lagos, Loulé, Olhão, Palmela, Peniche, Peso da Régua, Portimão, Santiago do Cacém, São João da Madeira, Sesimbra, Silves, Sines, Tomar, Torres Novas, Torres Vedras, Vila Real de Santo António e Vizela;
- Na zona III: 557,91€ - restantes municípios de Portugal Continental [14].

Na generalidade, os parâmetros regulamentados para o cálculo da área útil são: a área total da habitação, a área e dimensões dos compartimentos, o pé-direito, o equipamento sanitário e de preparação de refeições, a relação entre compartimentos. A exigência de área útil mínima do fogo deve ser estabelecida pela regulamentação da construção portuguesa [13].

A regulamentação da construção contem as exigências de espaço aplicáveis na construção de nova habitação estabelecidas no Decreto-Lei n.º 650/75. Não estão definidas exigências de espaço regulamentares aplicáveis na verificação das condições mínimas de habitabilidade ou nas intervenções em habitações existentes. No entanto, o valor aproximado da área útil do fogo para novos edifícios é 5% a 15%, consoante a lotação, valores que estão próximos dos estabelecidos na regulamentação da construção de alguns países europeus [13].

## 2.2. Técnicas de levantamento do existente

Os benefícios promissores das tecnologias da informação aliadas ao setor AEC motivam à investigação de técnicas de levantamento do edificado de modo a superar incertezas e automatizar processos, como documentação e informação insuficientes sobre o edifício existente. Enquanto a tecnologia BIM é mais estabelecida para novos edifícios, a maioria das transformações das construções existentes não é gerida com esta tecnologia [15]. Devido aos rápidos desenvolvimentos na área, Volk, Stengel, e Schultmann realizaram uma revisão de mais de 180 publicações sobre a implementação do BIM em edifícios existentes. Os resultados mostram a aplicação do BIM ainda muito prematura em edifícios existentes, devido aos desafios:

- Uma modelação com boa qualidade tanto a nível visual como informativo e a preocupação em converter a informação recolhida em objetos semânticos BIM;
- Atualização da informação no modelo;
- Manipulação de dados, objetos e relações incertas entre estes no BIM que ocorrem em edifícios existentes [15].

Para se implementar o BIM na gestão de edifícios existentes, é necessário recolher as informações do construído: ou o modelo BIM se encontra disponível e é necessário atualizá-lo, ou a informação existente é insuficiente e é necessário retirar as informações do edifício para se prosseguir com o modelo do existente, *as-is* (Figura 4):

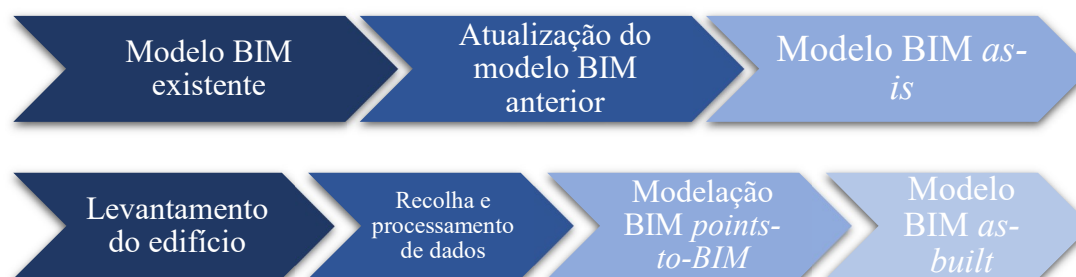


Figura 4. Métodos de criação de modelo BIM para edifícios existentes, adaptado [15]

Assim, visto que os modelos BIM disponíveis são relativos principalmente a edifícios recentemente construídos ou ainda em projeto, o levantamento de um edifício é a única fonte das informações das dimensões, geometria, espaço, elementos construtivos, entre outros, do

edificado, essenciais para analisar e modelar a obra a reabilitar. A reunião das informações consiste no conjunto dos métodos e técnicas que permitem registar as características fundamentais de um objeto edificado em desenhos, modelos ou representações que sejam compreensíveis para consulta e operações de intervenção. O levantamento permite identificar, analisar e registar o estado do edifício e compreender as modificações feitas ao longo do tempo desde a configuração original à atual, reconhecer objetos peculiares e anomalias que possam existir [16].

Para levantar o existente com apoio da metodologia BIM, vários métodos podem ser aplicados, entre eles o *laser scanning* e a fotogrametria. A partir de ambos é possível extrair uma nuvem de pontos, NP, que contém as coordenadas dos pontos nas superfícies dos elementos da construção, mas também de outros objetos temporários que servirão de recurso à modelação BIM [17]. É necessário estudar o método de recolha mais adequado à obra em questão, os seus prós e contras, com menor erros de medição, se é proveitoso apostar na respetiva técnica, entre outros aspetos a verificar. Deste modo, serão estudadas as técnicas mais competitivas no mercado e/ou em atual desenvolvimento para recolher as informações de construções existentes como método de apoio à reabilitação: as não destrutivas fotogrametria e *laser scanning* e a destrutiva, técnica tradicional ou manual (Figura 5).

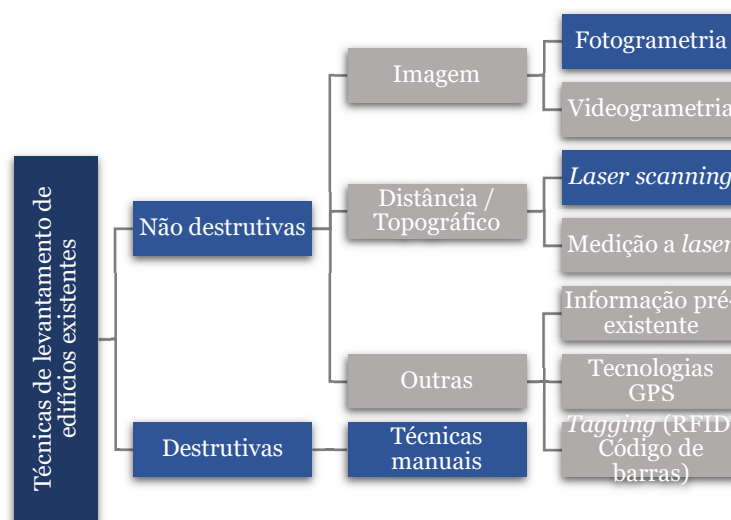


Figura 5. Principais técnicas de levantamento de edifícios existentes, adaptado [15, 18]

### 2.2.1. Levantamento manual e tradicional

Este tipo de técnica destrutiva representa um conjunto de metodologias que requerem várias visitas ao local, visto que todos os pontos de levantamento devem ser fisicamente acessíveis,



para afinar a informação ao longo da análise do edifício existente [16]. O levantamento manual é o mais utilizado em Portugal, pois apesar de ser demorado e ter fraco nível de precisão, é obtido facilmente a nível económico. Fazem parte deste tipo de levantamento as medições por fita métrica, ou medidor de distâncias a *laser*, níveis, entre outros como aparelhos utilizados nos levantamentos topográficos, como os teodolitos e estações totais, que apesar de adquirirem alta precisão são técnicas que requerem muito tempo [16]. As estações totais, com o auxílio de pontos no terreno, determinam suas coordenadas topográficas pela medição automática de ângulos horizontais, verticais e distâncias inclinadas e apresenta os resultados num visor. Os dados podem ser armazenados no próprio equipamento ou externamente. Os *software* associados às estações totais possibilitam uma alta produtividade nos trabalhos de campo, facilidade no manuseio e transmissão de dados e fiabilidade nos resultados [18].

As grandezas medidas neste tipo de levantamento são várias distâncias e após este tipo de levantamento são feitos desenhos esquemáticos manuais e depois CAD de modo a obter um método de apoio à visualização e numa tentativa de retirar informações a partir desse esquema, até por exemplo fazer um modelo. O modelo BIM resultante desta técnica teria informação escassa, uma vez que o nível de detalhe não seria preciso, mas visto que se fizeram vários levantamentos manuais e se verificou o tipo de materiais e técnicas construtivas, seria relativamente rico neste tipo de informações para depois se proceder à intervenção de reabilitação.

Outra maneira de realizar um levantamento nomeado de tradicional seria a utilização de desenhos CAD 2D, ou seja, plantas e alçados existentes para gerar um modelo BIM, mas pode vir a mostrar-se uma fonte de erros uma vez que a fase da construção é sujeita a várias alterações que não são registadas [19].

Através deste conjunto de técnicas não é possível obter um modelo ou uma aproximação a este de forma automática para fins de reabilitação e documentação do existente. A técnica ideal para o efeito requer as seguintes propriedades:

- Precisão e confiabilidade: são dois fatores importantes do trabalho de levantamento, a menos que o trabalho seja feito para visualização simples e rápida;
- Portabilidade: devido a questões de acessibilidade para muitos locais, tendo em conta a ausência de eletricidade, restrições de localização, entre outros;
- Baixo custo: a maioria dos levantamentos do existente e a sua documentação têm orçamentos limitados que não podem abranger instrumentos de topografia caros;

- Aquisição rápida: a maioria do edificado tem tempo limitado para documentação para não perturbar obras ou visitantes e para redução de custos;
- Flexibilidade: devido à grande variedade e dimensões da construção a registar, a técnica de levantamento deve permitir diferentes escalas e deve ser aplicável em qualquer condição possível [20].

Apenas métodos de levantamento detalhado do existente são fiáveis para registar as formas e características atuais do edifício, que se altera após a fase da construção, apresentando anomalias e degradação. Por isso, surgiram as metodologias de *laser scanning* e fotogrametria que incrementam a fiabilidade do processo de levantamento nesse aspeto [19]. Para além disso, o tempo no levantamento é bastante reduzido e não necessita de tantas visitas ao local, logo, os custos associados a estes processos também são diminutos.

### 2.2.2. Fotogrametria

Os métodos automatizados de reconstrução 3D baseada em imagens são cada vez mais uma solução para aplicações de modelação 3D e uma solução alternativa ao *laser scanning*, em que a partir de uma amostra de imagens adquiridas a partir das técnicas de fotogrametria é possível obter modelos 3D com grande qualidade visual [21]. Segundo a *American Society of Photogrammetry*, em 1979, "fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável dos objetos físicos e do meio ambiente através dos processos de registo, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões da energia eletromagnética radiante e outros fenómenos" [22]. O nome "fotogrametria" é derivado de três palavras de origem grega: *phos* ou *phot*, que significa luz, *gramma* que significa letra ou desenho, e *metrein*, de medida [23].

A fotogrametria é, então, a técnica que permite obter coordenadas espaciais de um dado ponto, que são calculadas através das coordenadas bidimensionais do mesmo em diversas fotografias obtidas em diferentes vistas [24]. A base dessa ciência, a fotografia, constitui um conjunto de pontos, ou *pixels* nas fotos digitais, os quais são formados por diversos feixes de luz que advêm do objeto, atravessando as lentes das câmaras, até serem gravados no sensor das câmaras digitais. Fotografias bidimensionais são utilizadas para se produzir imagens tridimensionais utilizando-se do princípio ótico da visão binocular, isto é, onde uma mesma área é fotografada a partir de dois pontos diferentes e, quando essas imagens são sobrepostas formam uma imagem tridimensional. Esse princípio é a base da ciência da estereoscopia, a

arte que permite a visão estereoscópica ou tridimensional e o estudo dos métodos que tornam possíveis esses efeitos.

A correspondência de imagens, conhecido como *matching*, é a principal fase na conceção de nuvens de pontos, a partir da fotogrametria e tem uma história de mais de 60 anos, com as primeiras experiências realizadas com procedimentos analógicos para fins cartográficos e de mapeamento. A recente integração de algoritmos de visão computacional e outros métodos fotogramétricos desenvolveu o processo automático de modelação 3D baseado em imagens [25].

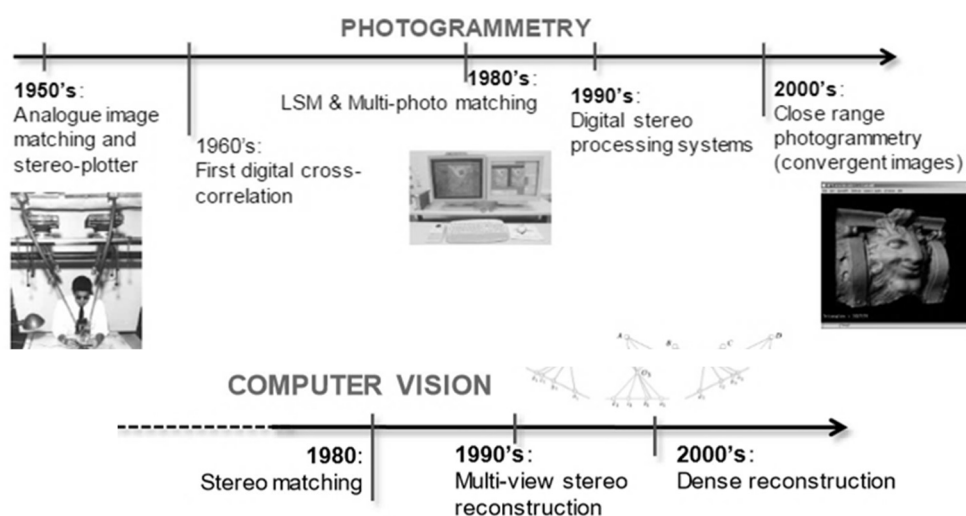


Figura 6. História da fotogrametria e da correspondência de imagens até reconstrução densa [26]

O objetivo da fotogrametria é obter informações sobre o ambiente físico a partir de imagens. O princípio básico da medição com câmaras fotográficas, e muitos outros instrumentos óticos, baseia-se na propagação da luz aproximadamente através de raios retos, que são gravados pela câmara; assim, o sensor mede as direções no espaço 3D. A relação geométrica fundamental da fotogrametria é, portanto, uma restrição de simples co-linearidade: um ponto de mundo em 3D, sua imagem na câmara e o centro de projeção da câmara devem estar todos em uma linha reta. Porém, além da medição geométrica, a fotogrametria também inclui a interpretação semântica de imagens e a derivação de parâmetros de objetos físicos a partir das intensidades radiométricas observadas [27].

O fluxo de trabalho da fotogrametria e obtenção de uma nuvem de pontos normalmente segue as seguintes fases, representadas de forma simplificada na Figura 7:

- Pré-requisitos do projeto: calibração da máquina fotográfica ou utilização de uma máquina calibrada;
- Aquisição de informações: para esta fase será necessária apenas uma câmara se o objeto a levantar não se movimentar, caso contrário serão necessárias mais de duas que tenham a capacidade de trabalhar em conjunto;
- Pré-processamento de imagens: converter as imagens no formato original, por exemplo JPEG, para o formato utilizado no *software* de correspondência de imagens e formar pares de imagens, que pode ser iterativo ou hierárquico, através da seleção manual de pontos de ligação ou através da construção de uma pirâmide de imagens, respetivamente;
- Processamento de imagens, correspondente à fase crucial do fluxo de trabalho da reconstrução fotogramétrica, em que são escolhidas imagens mestre para seguir o procedimento da combinação de imagens;
- Formação da nuvem de pontos: é gerada a nuvem de pontos do objeto ou de uma superfície em estudo, explicada no próximo subcapítulo;
- Controlo de qualidade da nuvem de pontos: a nuvem de pontos resultante deve ser verificada tanto a nível de qualidade, se está completa, fluida e densa, como de quantidade, comparando os desvios dos pontos da nuvem com os pontos de controlo ou a nuvem de pontos gerada com outra existente, do mesmo objeto [28].



Figura 7. Principais fases da fotogrametria, adaptado [28]

### 2.2.3. Reconstrução fotogramétrica e aquisição da nuvem de pontos

A maior parte das nuvens de pontos são adquiridas pelas técnicas de *laser scanning* ou de fotogrametria. A formação da nuvem de pontos consiste em quatro fases: aquisição de imagens, orientação, correspondência e co-registo [17].

A aquisição da imagem fotogramétrica realizada a partir de uma câmara fotográfica calibrada ou não calibrada. Para realizar um levantamento adequado, o edifício deve ser fotografado o mais completamente possível com imagens sobrepostas. É muito importante ter conhecimento sobre a técnica de fotografia e os parâmetros da câmara que são usados neste processo. Para obter alta precisão e confiabilidade, as fotos devem ser da alta qualidade e tiradas de forma precisa para serem usadas mais tarde. Esse processo requer que certos parâmetros das fotos permaneçam inalterados: depois de ajustar o foco de forma que a imagem fique nítida, o mesmo valor de foco deve ser bloqueado para cada imagem tirada no conjunto. Outros parâmetros que se devem manter ao tirar as fotografias são: resolução da imagem, zoom, distância da câmara ao objeto, e exposição. O brilho e as possíveis sombras devem ser os mesmos em todas as imagens tiradas no conjunto para posteriormente não ocorrer sobreposição de texturas que parecem diferentes de diferentes posições. O tripé deve ser utilizado se estiver disponível.

Para a obtenção de precisão geométrica, cada ponto fotografado deve ser visível em pelo menos três imagens [17]. Relativamente a outras técnicas de levantamento manuais, esta é feita sem contacto, e as informações recolhidas são agrupadas em quatro categorias: (i) informação geométrica: a mais importante fonte de informação, envolve a posição espacial e a forma dos objetos; (ii) informação física: propriedades de radiação eletromagnética, como energia radiante, comprimento de onda e polarização; (iii) informação semântica: informação atribuída à imagem, como o seu significado, e (iv) temporal: a mudança de um objeto no tempo, obtida através da comparação de várias imagens de momentos diferentes [23].

O processo de orientação é realizado através de *software* que usam sistemas SfM, *Structure from Motion*, para uma produção automática de pontos de ligação, pontos com coordenadas desconhecidas, mas visualmente reconhecíveis na área de sobreposição entre duas ou mais imagens por apresentarem características autênticas [17, 30]. As posições dos pontos de ligação na imagem que aparecem nas áreas de sobreposição de múltiplas imagens são identificadas e medidas, o que pode ser feito manualmente ou automaticamente [29]. De seguida, as coordenadas para os pontos fixos são calculadas por triangulação em bloco, onde

os pontos de amarração devem ser visualmente bem definidos em todas as imagens, como em duas direções opostas, como por exemplo, os cantos de um edifício [30]. Os pontos de amarração também devem estar bem distribuídos na área do bloco de imagens: nove pontos de ligação comuns em cada imagem, são adequados para se proceder à triangulação em bloco como representado na Figura 8:

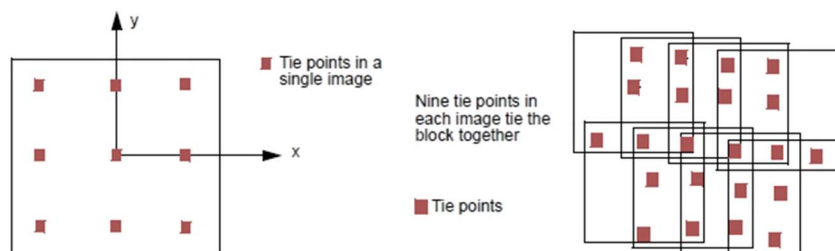


Figura 8. Pontos de ligação numa única figura (esquerda) e num bloco de imagens (direita) [30]

Através de algoritmos, também são determinadas as orientações relativas das câmaras e é possível fazer a triangulação automática (fotogrametria automática). Por vezes também são introduzidos manualmente pontos de controlo localizados: dois pontos de controlo, uma distância é introduzida e a escala em falta é conhecida e é possível combinar grupos de imagens que não seriam orientados automaticamente (fotogrametria iterativa) [17]. Os pontos fixos, PF, devem estar no mesmo sistema de coordenadas que o utilizado para o próprio edifício a ser levantado. Finalmente, é realizado um ajuste do agrupamento dos blocos para determinar orientação exterior de todas as imagens e os correspondentes desvios-padrão [17]. A Figura 9 representa a combinação de pontos de controlo e pontos de amarração:



Figura 9. Utilização de pontos fixos: de controlo (vermelho) e de amarração (amarelo) [17]

Na correspondência de imagem, *matching*, ou identificação de pontos comuns em duas ou mais fotografias, são utilizados parâmetros de calibração ou de autocalibração, determinados simultaneamente com o parâmetro de orientação e são calculadas as imagens sem distorção. Por vezes é necessário utilizar dispositivos para calibrar a câmara na fase de aquisição de imagem para obter estes parâmetros. Esta etapa é essencial para a fotogrametria uma vez que

são determinados pares *stereo*, ou seja, é selecionada uma imagem sem distorção (imagem mestre), e formam-se a partir dessa imagem pares de imagens por terem uma direção de visualização igual para a correspondência de imagens, com base nas condições do comprimento da linha de base e nos ângulos entre os eixos da linha de base e os eixos da câmara. Cada imagem de cada par *stereo* é retificada: as orientações artificiais da câmara são calculadas de tal forma que os eixos do par são orientados normalmente para a base e paralelamente uns aos outros [17]. As imagens retificadas são redimensionadas a partir das imagens originais e podem ser usadas na correspondência densa. Para cada *pixel*, o *pixel* correspondente na outra imagem é procurado e é interpolada a disparidade, ou seja, a distância entre dois *pixels* ao longo de uma linha de imagem, através do método *semi-global-matching*, SGM: a partir da profundidade do ponto e as orientações exteriores de ambas as imagens, o ponto 3D é triangulado para cada *pixel* [17]. Um intervalo para a distância D do centro da câmara para o ponto 3D é determinado adicionando ou subtraindo um valor de incerteza da disparidade. Para calcular a profundidade final, é escolhido o agrupamento com a maior quantidade de valores de incertezas da disparidade. O valor final para D e sua precisão são determinados por um ajuste de mínimos quadrados como descrito por Rothermel na Figura 10 [31].

Todos os pontos 3D de todos os pares *stereo* são combinados, os mapas de disparidade são sobrepostos e apenas são triangulados os pontos que aparecem em pelo menos três imagens, de modo a obter uma melhor estimativa dos pontos e precisão da profundidade e para reduzir o ruído da imagem, o denominado *clutter* [31]. As coordenadas finais do ponto 3D (X, Y, Z) são então calculadas por:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R^T \cdot (n \cdot D) + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}$$

Figura 10. Cálculo das coordenadas finais [31]

Em que: (i) (X, Y, Z) são as coordenadas finais do ponto 3D, (ii) R é a matriz de rotação ou transformação das coordenadas do objeto para o sistema de coordenadas da câmara; (iii) n é o vetor unitário do centro da perspectiva para o pixel e posição da câmara; (iv) D é a distância do centro da câmara para o ponto 3D; e (v) (X0, Y0, Z0) são as coordenadas da posição da câmara [31]. Em geral Em geral, a informação recolhida por um sistema de imagem 3D,

além das cartesianas ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), também são medidos os ângulos polares  $r$ ,  $\theta$  e  $\varphi$ : distância, ângulo de azimute e ângulo de elevação e a cor associada a cada coordenada.

Aplicando a lei da propagação de erro, calcula-se a precisão das coordenadas, utilizando os desvios padrão estimados no ajuste do bloco para  $R$  e  $(X_0, Y_0, Z_0)$  e na determinação da profundidade  $D$  [31]. Na última fase da correspondência de imagens, as nuvens de pontos de todas as imagens mestre são unidas. Para cada ponto são armazenadas a coordenada, a cor RGB, a precisão e coordenadas precisas e a identificação da imagem de referência, de onde se pode retirar o raio desde a câmara até o ponto. Estas são informações valiosas para visualizar a nuvem com as cores atuais do edifício levantado [17].

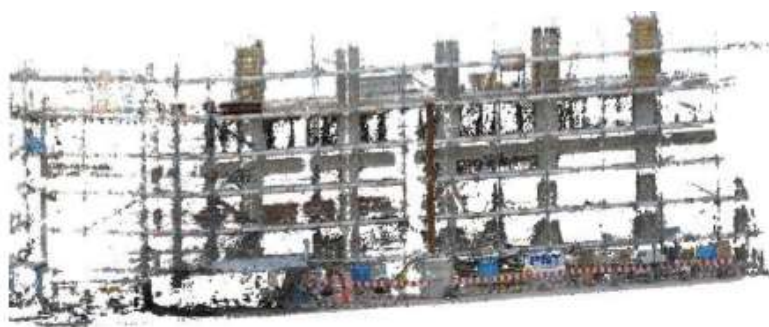


Figura 11. Nuvem de pontos fotogramétrica colorida [17].

Por último, no co-registo, se as coordenadas do modelo assim como as coordenadas do ponto de controlo estiverem numa referência comum do edifício, um co-registo não é necessário. Caso contrário, terão de ser determinados no modelo os pontos de controlo e as imagens têm de ser medidas para calcular a transformação das coordenadas reais nas do ponto.

#### 2.2.4. Tipos de fotogrametria

A fotogrametria é principalmente dividida em dois tipos, os quais são escolhidos com base nas proporções do objeto em estudo e da finalidade deste. Em geral, classificam-se em: fotogrametria terrestre e aérea. A terrestre difere da aérea por se tratar de fotografias retiradas de pontos próximos do solo. A aérea caracteriza-se por ser tirada em médio aéreo afastada do objeto em interesse, e pode ser aerofotogrametria por ter câmaras posicionadas em aviões ou *drones* ou fotogrametria espacial quando as fotografias são obtidas a partir de satélites. A



fotogrametria aérea também pode ser classificada como vertical (Figura 12) ou oblíqua, explicada no Capítulo 3.

A fotogrametria terrestre tem uma gama de aplicações, como arquitetura, controle industrial, engenharia civil e artes plásticas [18]. A fotogrametria pode também ser classificada pelo tipo de gravação da imagem: fotogrametria analógica ou analítica em filme, a qual é depois digitalizada para obter o formato digital, ou digital, obtida a partir de uma câmara fotográfica.



Figura 12. Exemplo de uma nuvem de pontos do município de Paredes de Coura resultante da fotogrametria aérea vertical (cortesia de Tiago Delgado)

### 2.2.5. Normas para a aplicação da imagem 3D em ambiente BIM

Os benefícios da determinação do ambiente espacial e as condições construídas têm desempenhado um papel fundamental na redução de custos e na engenharia de qualidade superior. A imagem 3D também se tornou mais prevalente na indústria de arquitetura, engenharia e construção (AEC). No entanto, não existe normalização relativa a estes métodos de levantamento aplicados ao BIM [15]. As instituições federais que utilizam tecnologias de imagem 3D incluem o Departamento de Defesa dos Estados Unidos e outros departamentos que formaram um guia para a utilização das técnicas de imagem 3D, como o *laser scanning* e a fotogrametria, nos projetos de BIM. As aplicações incluem: a documentação de estruturas históricas e características arquitetónicas, a identificação de discrepâncias de reconstrução, a determinação de condições antes e durante a fase de construção [32].

A GSA BIM *Guide for 3D Imaging* destina-se a ser incorporada por referência nos contratos de para novos projetos de construção, urbanísticos e históricos, ou grandes projetos de modernização que exigem documentação de condições *as-is*. O guia foi preparado para

auxiliar as equipes do projeto na contratação e garantia de qualidade nos contratos de imagem 3D. O documento fornece diretrizes para a solicitação de serviços de imagem 3D e critérios de avaliação para garantir que os requisitos especificados para os sejam satisfeitos. Este Guia também é de interesse geral para outros membros das equipes de projeto, agências de clientes e partes interessadas, tais como consultores de *design*, gerentes de construção, construtores, entre outros [32].

O guia está organizado em capítulos: i) Introdução em que é descrito o conceito da tecnologia da imagem 3D, as suas aplicações e métodos alternativos; ii) Fase de solicitação: identificação do contexto e tipo de projetos em que a tecnologia pode ser aplicada como a seleção prévia de elementos a serem levantados e o definido o objetivo do levantamento para otimizar a quantidade de informação recolhida e reduzir os custos e a descrição do projeto e dos objetivos do cliente, a definição os tipos de entregáveis de acordo com o nível de detalhe pretendido, como desenhos 2D e modelos 3D e especificação dos requisitos para os entregáveis e troca de informações, como o plano da recolha de informações, interoperabilidade e seus formatos, por fotografia ou *scan*, o nível de desenvolvimento do modelo, qualidade de controlo e resolução de requisitos; iii) Fase de avaliação: em que é suposto os empreiteiros avaliarem os entregáveis, através do controlo da qualidade das fontes de possíveis erros, como a calibração, a monitorização dos pontos de recolha de informação como locais a fazer digitalização e fotografia, evitar os erros no registo das nuvens de pontos, na modelação e os documentos do modelo; iv) Gestão do projeto: requisitos de comunicação e coordenação como por exemplo a gestão do tempo nas fase da procuração, planeamento e execução [32]:

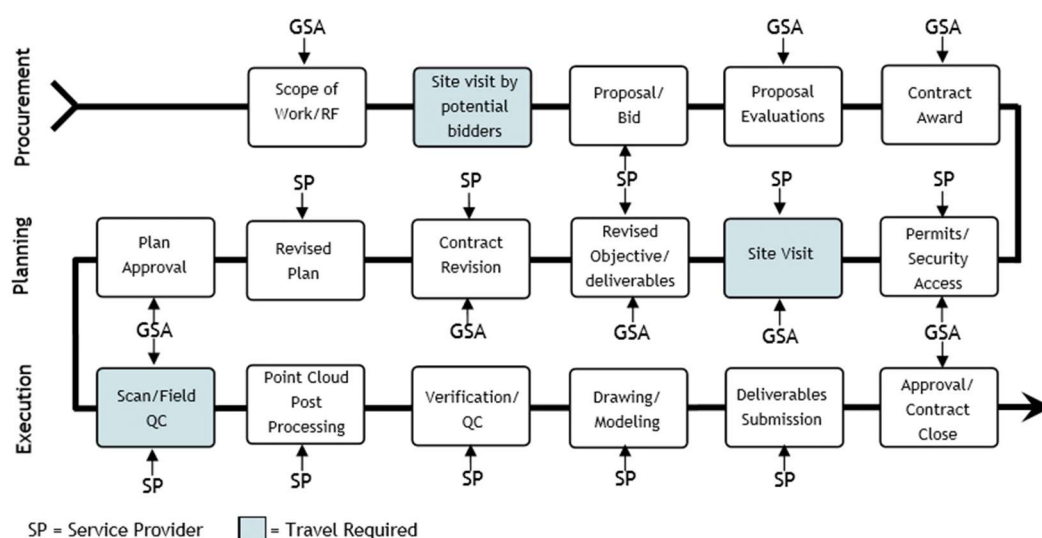


Figura 13. Fluxo de trabalho de um projeto de imagem 3D [32]

A norma finlandesa COBIM, *Common BIM Requirements*, produto da *buildingSMART*, também especifica alguns dos requisitos para a modelação do modelo existente em *Series 2: Modeling of the starting situation*, também possui especificação para os tipos de levantamentos existentes como a precisão, o tipo de detalhes a descrever e o tipo de informação anexada, incidindo no *laser scanning* [33].

### 2.2.6. Interoperabilidade da fotogrametria com BIM

Devido à disponibilidade de aplicações *low-cost* e de fonte aberta, a reconstrução 3D a partir de fotografias torna-se muito popular, e cada vez mais se procura soluções para a melhoria da automação e modelação 3D mais rápida, permitindo a obtenção de nuvens de pontos densas 3D através de métodos rápidos e fáceis, versatilidade com qualquer tipo de imagens, cenários e câmaras e qualidade a nível de precisão e resolução [26]. Um sistema fotogramétrico digital define-se como um conjunto de *hardware* e aplicações destinado à obtenção de produtos fotogramétricos, como nuvens de pontos, a partir de imagens digitais usando técnicas manuais e automáticas, e deverá apresentar as seguintes características [22]:

- Importação de imagens, armazenamento, visualização e manipulação de dados;
- Processamento de imagens, correções radiométricas;
- Correspondência de imagens, *matching*, identificação automática ou semi-automática de pontos de ligação e orientação destes;
- Transformação e análise de imagens;
- Produção de modelos de superfície DEM, *Digital Earth Model*, de imagens 2D e de nuvens de pontos;
- Verificação de resultados, controlo de qualidade, diagnósticos e elaboração de relatórios [22].

No entanto, a interoperabilidade entre os sistemas não deve ser ignorada, especialmente se cada vez mais se optam por essas soluções, não só para modelação e visualização rápidas, mas também para a troca de informações entre as especialidades envolvidas, por exemplo, num projeto de reabilitação. Se dois ou mais sistemas de imagem 3D forem usados no projeto, quaisquer problemas de compatibilidade e integração entre os dados importados e exportados para os diferentes sistemas devem ser identificados. A integração de dados de diferentes fontes pode contribuir para o aumento do tempo de pós-processamento de imagem, levando ao atraso do projeto. Outros dados internos específicos dos instrumentos de levantamento também

podem ser perdidos no processo de exportação para outros formatos. A quantidade de dados obtidos por um sistema de imagem 3D pode ser um problema, pois o tempo e a capacidade de manipular grandes arquivos de dados e exibir as nuvens de pontos são restringidos. Os problemas decorrentes da incompatibilidade de dados devem ser descritos e propostas as potenciais soluções. Para este fim, devem ser realizadas normas para garantir a correta operabilidade entre os *softwares* fotogramétricos e de modelação BIM. O guia GSA BIM *Guide for 3D Imaging*, relativamente à interoperabilidade, sugere que o tipo dos documentos entregáveis sejam como os listados:

- Tipo 1: desenhos 2D CAD obtidos a partir do levantamento do edifício;
- Tipo 2: modelos BIM 3D;
- Tipo 3: dados da digitalização ou fotogrametria como a nuvem de pontos e imagens 3D individuais apresentados em formato digital;
- Tipo 4: dados de leitura bruta como varreduras individuais que não foram registadas ou filtradas em formato digital exportado pelo software do instrumento, como se exemplifica na Figura 14 [32].

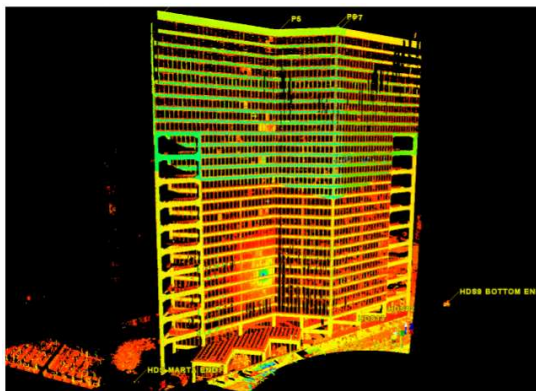


Figura 14. Exemplo de uma nuvem de pontos bruta de um *scan* individual [32]

No entanto, não especifica o formato do ficheiro, mas faz referência ao desenvolvimento de um formato padrão para dados de imagem 3D: o E57, especificado na norma ASTM E57 3D *File Format*, embora existam outros esforços contínuos para alcançar esse objetivo: a norma ASPRS Lidar para o formato LAS e ISO 15926 para a interoperabilidade de sistemas [32].

O formato de arquivo E57 é um formato compacto e neutro para o armazenamento de nuvens de pontos, imagens e *metadata*, como os seus atributos, coordenadas, cor e intensidade, produzidos por sistemas de imagem 3D, como *scanners a laser* e fotogrametria. O formato é especificado pela ASTM, uma organização internacional de padrões, e está documentado na

norma ASTM E2807. O formato E57 foi desenvolvido pelo subcomité de Interoperabilidade de Dados do Comité ASTM E57 sobre Sistemas de Imagem 3D.

O formato LAS foi desenvolvido pela ASPRS com o objetivo de armazenar dados de tecnologias LIDAR. É especificamente orientado para as necessidades de levantamento aéreo, embora o formato possa ser utilizado para dados de *laser scanning* terrestre, ignorando os campos inaplicáveis. No entanto, o formato E57 destina-se a ser um formato mais geral que é adequado para armazenar dados de diversas aplicações. As capacidades do formato E57 diferem em comparação com as do formato LAS: o primeiro permite que os utilizadores escolham de forma flexível as informações associadas a cada ponto 3D, bem como o número de *bits* usados para representar a informação. Em contraste, o LAS usa um conjunto pré-definido de tipos de registo de tamanho fixo que são especializados para o armazenamento de dados aéreos. O formato E57 suporta dados em grade, isto é, dados alinhados em matrizes regulares, múltiplos sistemas de coordenadas, incluindo cartesiano e esférico, imagens incorporadas de câmaras, construídas em deteção de erros e agrupamentos de pontos em linhas, colunas ou grupos definidos pelo utilizador. O formato E57 também define um mecanismo de extensão que permite que se desenvolvam recursos personalizados que não foram previstos no projeto inicial do padrão. Essas extensões podem ser integradas em futuras versões. Finalmente, o formato E57 tem um tamanho de arquivo essencialmente ilimitado assim como o número de registos, enquanto o formato LAS é limitado aos registos [34].

O formato E57 encontra-se disponível em todas as aplicações para fotogrametria, e é compatível com programas BIM, como por exemplo a *Autodesk Recap*, que é capaz de importar os ficheiros de fotogrametria, trabalhar na nuvem, e depois exportá-la para outros formatos.

Relativamente às aplicações para a fotogrametria, existem algoritmos para correspondência de imagens apresentados como *software* comerciais de fonte aberta para a formação de nuvem densa de pontos a partir de fotografias:

- *Trimble Inpho Geo-Capturing*: adquire nuvens de pontos densas precisas (1 pixel) e modelos detalhados de superfície de alta qualidade diretamente de blocos de cenas estéreo como quadros aéreos e satélites. Nesta aplicação é utilizada uma combinação avançada de imagens múltiplas com base no algoritmo SGM para criar nuvens de pontos como um custo menor em alternativa ao varrimento a *laser* aéreo, particularmente para aplicações como modelação de cidade [36]. Com a seleção

automática de melhor geometria, leve em consideração todas as imagens sobrepostas localmente, a fim de criar nuvens reais de pontos coloridos RGB com sobreposição de imagens, mesmo as ruas urbanas estreitas são detetadas; possui otimização automática de parâmetros e estratégias de correspondência e filtragem de ruído do sensor; consideração ponderada rigorosa de dados morfológicos previamente medidos, como linhas de rutura, alturas de pontos, entre outros. *Output* direto para estruturas LAS em mosaico para compatibilidade com aplicativos de terceiros [35].

- *Bentley ContextCapture*: produção de modelos 3D de condições reais existentes, incluindo grandes escalas como cidades, a partir de simples fotografias para proporcionar contexto às decisões de projeto, construção e operação de forma fácil e rápida para todos os tipos de projetos. Dependendo de suas necessidades organizacionais e de projeto, pode ser optado o *ContextCapture* ou o *ContextCapture Center*. Para maiores projetos ou processamentos paralelos e várias áreas de trabalho e servidores para acelerar o processamento ou acesso ao *kit* de desenvolvimento de *software* para desenvolver soluções personalizadas, o *ContextCapture Center* responde a estas necessidades [26].
- *Photomodeler*: a criação de modelos nesta aplicação é um processo iterativo. Cada iteração consiste das seguintes etapas: marcação de elementos importantes nas fotos como pontos, arestas e linhas, referenciando elementos entre diferentes fotos, iniciando o processamento automático do *Photomodeler*. Cada elemento deve ser marcado em no mínimo duas imagens para ser processado e revelar suas informações 3D. É muito importante ter fotos de boa qualidade com alta resolução [36]. Fotografias de baixa qualidade podem levar a uma menor precisão do modelo 3D final [32].
- *Agrisoft Photoscan*: é um pacote comercial capaz de orientar e corresponder grandes conjuntos de imagens automaticamente. As imagens, ao serem processadas, originam densas nuvens de pontos, as quais contêm as coordenadas 3D dos milhares de *pixels* das sequencias de fotografias e posteriormente são utilizadas para gerar malhas texturizadas, as quais compõem os modelos digitais de elevações [18]. Normalmente os resultados são apresentados em forma de malhas [26].
- *SURE (photogrammetric SURface REconstruction from imagery)* é um método *multi-view stereo*, MVS, onde uma imagem é correspondida a um conjunto de imagens adjacentes: para cada par, é criado um mapa de disparidades. De seguida, todos os mapas de disparidades com a mesma vista de referência são unidos numa nuvem de

pontos final e são criados mapas de profundidade através do algoritmo SGM, *semi-global matching*, com correspondência de *pixel* usando uma busca dinâmica de disparidade, e depois convertidos em coordenadas 3D. É uma aplicação muito eficiente e apesar de ser comercial, existe uma versão gratuita para fins educacionais [26].

- *MicMac*: é um método multi-resolução e multi-imagem que foi originalmente desenvolvido para lidar com imagens satélites de grande resolução e tamanho, mas agora processa com grandes sequências terrestres ou blocos aéreos de imagens. Tem um método piramidal: começa pela correspondência de imagens de pequena resolução até às de maior por cada nível, de modo a melhorar a qualidade da correspondência até à resolução total. O *MicMac* trabalha de acordo com duas estratégias geometria: a de imagem e a de base (*ground*). Na geometria de imagem o utilizador seleciona um conjunto de imagens mestre para o procedimento de correlação; depois para cada ponto 3D candidato é relacionado com os da imagem mestre e projetado para as imagens vizinhas e é derivada uma similaridade global. Na geometria de base, um voxel é definido de acordo com o tamanho do bloco e a distância entre a câmara e o objeto, depois cada ponto 3D candidato é projetado de volta para as imagens e é derivada uma similaridade global. Para as duas estratégias é aplicada uma minimização de energia para regular a superfície e evitar espaços indesejáveis. O *MicMac* é uma fonte aberta e fornece reconstruções detalhadas e precisas com a preservação das discontinuidades superficiais, devido ao processo de otimização de energia [26].
- *PMVS - patch-based multi-view stereo*: é um método de correspondência de imagens que não necessita de nenhuma aproximação inicial da superfície. Um fragmento ou *patch*,  $p$ , é um retângulo tangente aproximando-se da superfície cuja geometria é completamente definida pela posição do seu centro  $c(p)$  e um vetor normal unitário orientado através uma imagem de referência  $R(p)$  onde é visto. Após o passo inicial de correspondência, é feita uma propagação e filtragem de fragmentos semidensos para eliminar possíveis pontos ou conjuntos de pontos isolados. Na sua implementação original, o método de crescimento de superfície usava todas as imagens simultaneamente, o que se traduz num esforço muito maior a nível da memória do computador, problema que foi resolvido através da aglomeração das imagens de entrada, com a reconstrução de subespaços. O software PMVS é de open source e usa imagens orientadas e sem distorção [26].

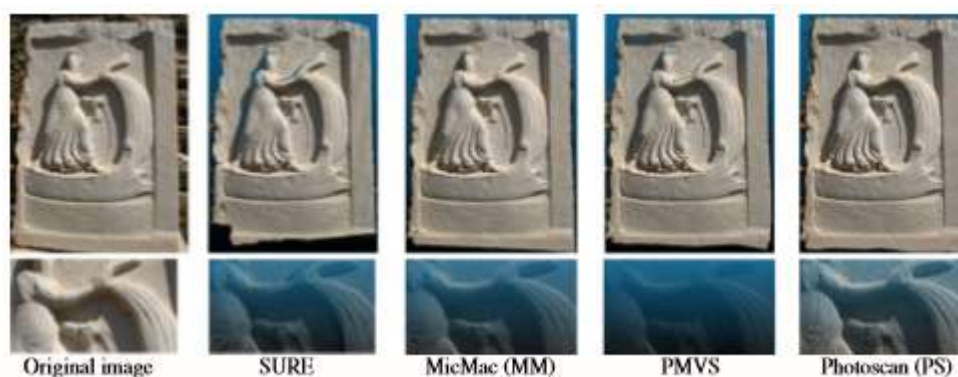


Figura 15. Comparação de nuvens de pontos obtidas por alguns dos algoritmos disponíveis no mercado [26]

Para além destas aplicações, existem muitas outras. Esta explicação serve de exemplo de como este tipo de algoritmos e *software*, apesar de apresentarem o mesmo tipo de informações como resultado, diferem na sua metodologia para os obterem.

O preço e o sistema operativo compatível com algumas aplicações pode ser analisado na Tabela 2. As versões gratuitas permitem a obtenção de resultados satisfatórios e com qualidade, mas é necessária a intervenção de outros programas, como por exemplo o *MeshLab* para melhores resultados. O *Opendronemap* é um programa em crescimento e conhecido, mas necessita mais trabalho manual, ao contrário das versões pagas, em que não é necessário recorrer a programas secundários e o automatismo do programa permite um fluxo de trabalho mais livre [37].

Tabela 1. Aplicações principais para fotogrametria e preços das licenças [37]

Aplicação	Sistema Operativo	Licença
<i>Opendronemap</i>	<i>Linux</i>	Livre
<i>Visual SFM</i>	<i>Linux, OSX, Windows</i>	Livre
<i>Open MVS</i>	<i>Linux OSX, Windows</i>	Livre
<i>123D Catch</i>	<i>Android, iOS, Windows, web based</i>	Download gratuito
<i>PhotoModeler</i>	<i>Windows</i>	Desde 3500 €
<i>Drone2Map</i>	<i>Windows</i>	1500 €/ano
<i>Pix4D</i>	<i>Windows, OSX (Beta), Online</i>	260 €/mês 2600 €/ano 6500 € contínua
<i>PhotoScan</i>	<i>Linux, OSX, Windows</i>	Standard 179€ Professional 3499€



<i>DroneDeploy</i>	<i>Online</i>	<i>Pro 99 €/ mês</i> <i>Business 300 €/mês</i>
<i>DroneMapper</i>	<i>Online</i>	Desde 250 € <i>online</i>

O *PhotoModeler* e o *PhotoScan* são dois *software* bastante comercializados mas o *Pix4D* é o melhor posicionado na *internet* por ter plataforma *online* com junção de imagens de alta qualidade, e está ligado ao *Parrot Sequoia*, que hoje em dia é uma das câmaras multiespectrais mais utilizadas. O *DroneDeploy*, o *DroneMapper* e o *Pix4D* têm a vantagem de executar todo o processamento na *cloud*, tornando o trabalho mais rápido. No entanto, as aplicações têm a desvantagem de serem onerosas [37].

### 2.2.7. *Laser scanning*

A reconstrução de objetos 3D hoje em dia é muito apoiada em técnicas usando a imagem ou a recolha de dados por alcance, através de sensores ativos, como o *laser scanning* devido à sua facilidade de uso, velocidade e capacidade de recolher milhões de pontos num reduzido período de tempo [25]. O *laser scanning* representa uma das técnicas mais utilizadas para o levantamento de edifícios existentes, para projetos de reabilitação em Portugal e providenciam um método de levantamento de informação sobre as superfícies dos objetos, representando uma fonte de nuvens de pontos densos [38].

É uma tecnologia LIDAR, *light detection and ranging*, ou também usado o termo LADAR, *laser detection and ranging*, que permite a obtenção de nuvens de pontos a partir da varredura das superfícies dos objetos por raios *laser*, permitindo o registo automático de grande quantidade de dados num curto espaço de tempo: obtenção da nuvem e cor em 3 minutos aproximadamente num *scan*. Dependendo do equipamento e dos requisitos e características do levantamento, pode ser usado com versatilidade na captura da geometria de diversos tipos de objetos, de pequenas ou grandes dimensões e elementos decorativos com pormenores peculiares de edifícios antigos que por vezes escapam nos métodos convencionais, simples ou mais complexos, característica muito útil na modelação de construções a reabilitar. As vantagens do uso desta ferramenta é a facilidade de operabilidade, rápido, garante grande nível de fiabilidade através do detalhe e precisão, chegando ao milímetro [39].

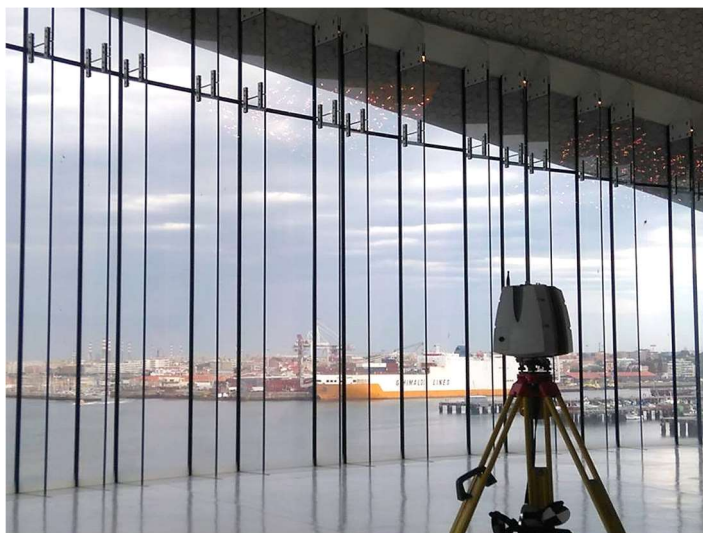


Figura 16. *Laser scanner* modelo P40 da *Leica*, levantamento do Porto de Leixões feito por Luís Santos em junho 2017

A metodologia do *laser scanning* é semelhante à da fotogrametria, apresentando as mesmas fases: desde a preparação do projeto até ao controlo e registo da nuvem de pontos, exceto a recolha de dados que é feita através da digitalização ou varredura e o pré-processamento em que a nuvem é formada. A varredura é baseada no princípio de triangulação a *laser*, como é demonstrado na Figura 17: o alvo é varrido com feixes de luz com comprimentos de onda no campo ótico ou próximo do infravermelho e a distância é determinada medindo o tempo decorrido entre a emissão do feixe e o registo da parcela dele refletida pela superfície. Cada ponto no objeto digitalizado está de acordo com sua localização no espaço 3D através de um sistema de coordenadas cilíndricas, calculados a partir dos ângulos em que são emitidos o feixe e a posição do sensor. Cada ponto do objeto é descrito pelas coordenadas tridimensionais X, Y e Z. A coordenada X de cada ponto no objeto é calculada a partir da medição precisa da distância da posição do espelho na câmara até a cada ponto do objeto [38].

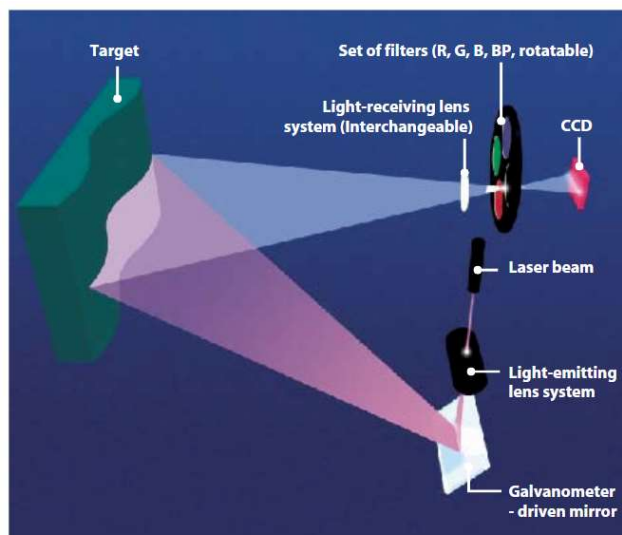


Figura 17. Triangulação a *laser* [18].

A coordenada Y é calculada a partir de uma medição precisa do sistema de movimento da câmara e a Z, coordenada de intervalo, é calculada através de triangulação a *laser* dentro do aparelho. As medidas de superfície do objeto são obtidas através da triangulação, e então convertidas em pontos com coordenadas 3D na nuvem de pontos. A luz refletida é registada usando o sensor CCD, *charge-coupled device*, que é um sensor semicondutor para captação de imagens e associando um filtro RGB, também recebe a cor da superfície levantada e a distância ao ponto, podendo obter-se uma nuvem de pontos a cores reais [38]. A técnica descrita anteriormente é o LS por triangulação, usando o sensor CCD, bom para objetos a distâncias curtas.

Outro tipo de *laser scanning* é por varrimento, ou *phase based*, que faz a medição da diferença do comprimento de onda do raio emitido e do refletido; o que corresponde à potência ótica do objeto levantado, ou seja, é determinada a mudança de fase das ondas de luz infravermelha. Este tipo de *laser scanning* destaca-se pela velocidade de recolherem milhões de pontos e não pela distância ao objeto [40].

Por último, o *laser scanning* por *time of flight* ou emissão de *laser* por impulso, mede o tempo que o raio é emitido e refletido, e a partir desta informação calcula a distância ao ponto; adequados para objetos que sejam limitados à distância de levantamento, ou seja, estejam a distâncias longas [40].

As técnicas atuais de levantamento via *laser scanning* oferecem uma forma eficiente de aquisição da geometria do edificio existente para se proceder à modelação BIM 3D, por processos iterativos ou automáticos. Porém, existem vários problemas que retardam o seu uso

alargado, seja pelo custo do equipamento, seja pelo trabalho na modelação: normalmente a nuvem é exportada para uma aplicação BIM interoperável e recorrem à precisão da nuvem e sua geometria para se modelar objetos ajustados à nuvem. A metodologia descrita anteriormente denominada de processo iterativo para a modelação [39]. Relativamente à exportação da nuvem de pontos do *laser scanning*, a interoperabilidade desta as aplicações BIM tem sido improvada, visto que já existem software BIM que leem a nuvem de pontos como o *Autodesk Revit* e *AECOSim Building Designer* e facilitam a sua integração com objetos BIM. Alguns *plugins* são capazes de melhorar a criação manual de objetos BIM como paredes e pilares e até objetos de MEP, dos sistemas de instalações [19].

No entanto, a modelação automatizada a partir da nuvem e pontos, ou *scan-to-BIM*, tem sido bastante estudada e desenvolvida: já existem algoritmos capazes de reconhecer objetos através de processos semiautomáticos e/ou automáticos para a modelação. O primeiro é feito através da seleção de conjuntos de pontos na nuvem e são traçadas linhas que melhor se ajustam aos pontos, formando malhas ou objetos estáticos.

Relativamente aos processos automáticos, detetam de forma automática os contornos dos objetos são reconhecidos automaticamente como no caso das NURBS, *Non-Uniform Rational B-Splines* (Figura 18). As NURBS são funções matemáticas que representam o objeto geometricamente a partir da seleção da nuvem de pontos, e estão disponíveis para a modelação geométrica direta. No entanto, os modelos gerados são apenas estáticos, não estando associados a informações paramétricas. Este processo depende da geometria do edifício e da qualidade da nuvem de pontos, que têm de ser simples e bastante coesa, repetitivamente. Apesar destas técnicas se mostrarem vantajosas, é sempre necessário ter um bom controlo de qualidade do modelo [15, 39].

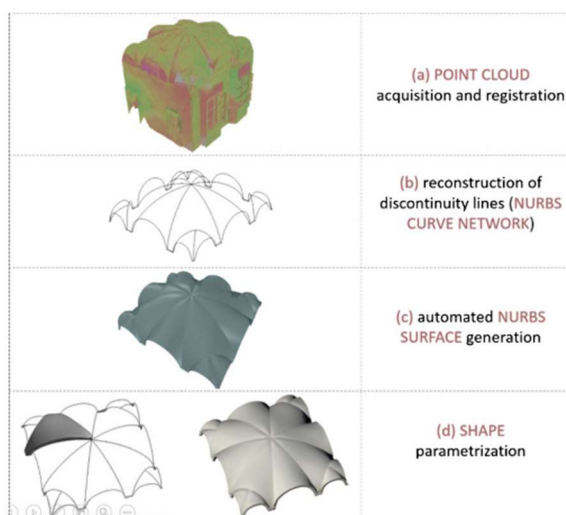


Figura 18. Metodologia da NURBS [19]

### 2.2.8. Aplicações da fotogrametria e do *laser scanning*

Os métodos para a formação de nuvens de pontos densas estão cada vez mais disponíveis para aplicações profissionais e até amadoras, como modelação, mapeamento 3D, robótica, imagens médicas, vigilância, rastreamento, navegação, entre outras. As aplicações para imagens 3D cobrem o espectro desde a sua utilização industrial para a deteção remota. A utilização das técnicas levantamento não destrutivas incluem a criação de modelos 3D, por exemplo de *as-builts* para engenharia reversa, manutenção e visualização, levantamento e mapeamento, controlo de qualidade, navegação de veículos autónomos e prevenção de colisões, reconhecimento de objetos e alvos, forense, preservação histórica e arqueológica, catástrofe e gestão florestal [32]. Existem diversas áreas em que a fotogrametria e o LS aliados ao BIM podem ser úteis tais como: desempenho energético de edifícios, estudos de estado, medições, características dos materiais, conformidade com as regulações do edifício, monitorização do estado de conservação de estruturas e principalmente em fases de inspeção, armazenamento de informação em fase de reabilitação [15]. As utilizações da fotogrametria e LS aplicado à Arquitetura, Engenharia Civil e Construção são:

- Documentação do estado atual dos edifícios *as-is*: para registar o estado atual do projeto de construção podem ser aplicados o *laser scanning* e métodos fotogramétricos para a obtenção de peças desenhadas de suporte e telas finais, pois as nuvens de pontos podem ser geradas e mantêm as coordenadas de pontos na superfície das peças de construção, mas também de outros objetos temporários que não são modelados em BIM [25].

- Monotorização do progresso da obra *in situ*: atualmente esta tarefa, crucial para gerir a obra, ainda é muito tradicional, ou seja, feita manualmente, o que faz com que seja demorada. Portanto, através da fotogrametria e do *laser scanning* a comparação do planeado e o estado real da obra seria feita de uma forma automatizada para a deteção precoce de desvios e conflitos na fase da construção. O estado real da obra é detetado por levantamentos fotogramétricos e são criadas as nuvens de pontos densas, que são comparadas com o modelo BIM previsto, através da medição das distâncias entre pontos individuais da nuvem e a superfície de um elemento (Figura 19) [17]. A partir da nuvem de pontos e modelo BIM atualizado do *as-built* pode extrair-se documentação 2D e 3D com base nesse progresso o que facilita todas as mudanças e revitalizações efetuadas;
- Controlo de escavações: através das medições precisas dos volumes e dimensões simples;
- Inspeção de fachadas e controlo de qualidade: controlo das dimensões dos elementos de construção e componentes da fachada antes da montagem final;
- Criação de documentação 2D e 3D arquitetónica precisa, e ulteriormente o modelo BIM de onde se pode fazer estudos energéticos, até monitorizar estruturas ao longo do tempo e executar pré-fabricações;
- Levantamento das redes de MEP existentes para documentação ou atualização da documentação;
- Monotorização de deformações e desgaste das estruturas existentes: a rápida digitalização dos elementos construtivos possibilita a recolha medições precisas de deformações para futura análise de reforço e evitar patologias de risco estrutural;
- Informação para a reabilitação: através da modelação 3D feita a partir da informação recolhida pelos métodos de levantamento não destrutivos, a informação detalhada permite documentar as condições em que se encontra a instalação de forma a determinar os danos existentes e assim contribuir no projeto de restauração, e, para além disso, contribui para uma melhor gestão do projeto de reabilitação durante o ciclo de vida do edifício;
- Planeamento urbano e conservação histórica: o levantamento da superfície permite o desenvolvimento de modelos 3D de locais da cidade e arqueológicos que permitem fazer uma avaliação da área ou até mesmo contribuir para complementar informação das bases de dados geográficas como a *Google Earth* e para registo histórico;

- Criação de mapas topográficos que permitem medir distâncias, áreas e volumes e detetar deficiências de construção como deformações em pontes, para além disso, o levantamento virtual é automatizado com a visualização tridimensional que também permite gerar documentação 2D precisa como elevações e perfis de seções;
- Inspeção ou engenharia reversa de materiais e de elementos construtivos [33, 41].

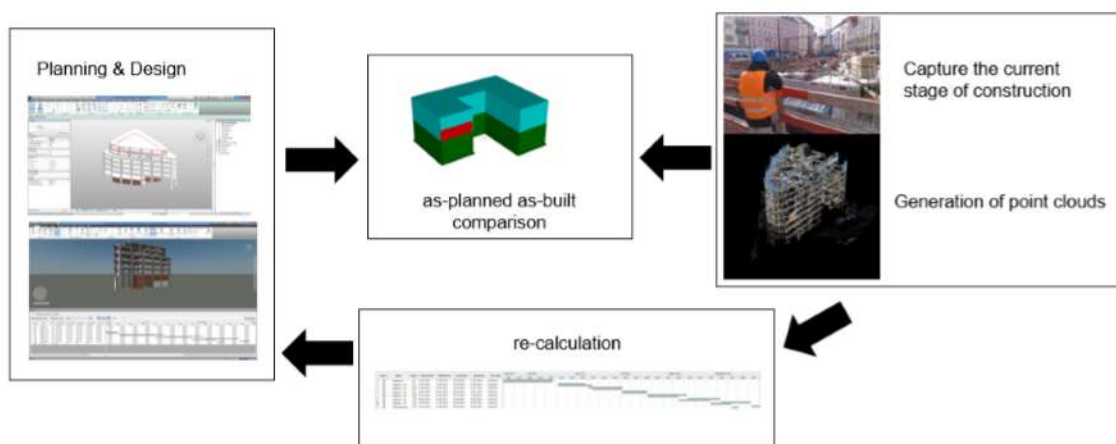


Figura 19. Esquema de monitorização do progresso da construção usando a fotogrametria ou o LS [17]

### 2.2.9. Fotogrametria versus laser scanning

Os sensores de alcance, tanto aéreos e terrestres, têm sido empregues em várias aplicações e continuamente melhorados em *hardware* e *software*, o que levaram a melhorias tecnológicas na área do levantamento por técnicas não destrutivas. Assim, têm ganho popularidade como fontes essenciais de nuvens de pontos densas para documentação 3D, mapas e visualização a várias escalas. Até recentemente, a fotogrametria não era capaz de originar nuvens de pontos densas e detalhadas similares às dos aparelhos de alcance como o *laser scanning* [25]. No entanto, devido a vários estudos e desenvolvimentos a nível de *hardware*, na radiometria e algoritmos como o SfM para correspondência de imagens, a fotogrametria ressurgiu como tecnologia de levantamento por imagem e modelação 3D competitiva e com características geométricas comparáveis às do *laser scanning* para aplicações aéreas e terrestres [25].

Apesar de os aparelhos de *laser scanning* terem vindo a melhorar a sua operabilidade, ou seja, cada vez são mais fáceis de transportar e aplicar, ainda continuam a ser onerosos comparativamente às câmaras digitais terrestres e às recentes aplicações para *smartphones* ou *tablets* [25] [29]. A principal vantagem da aplicação do LS é a aquisição de milhões de pontos num curto período de tempo, independentemente da luz ambiente, com a precisão do

milímetro ao centímetro. No entanto, este processo não é instantâneo e a extração de informação semântica, assim como a fotogrametria, não está disponível [29].

Os erros de medição da varredura a *laser* podem surgir de várias fontes: as medidas são afetadas pelas características da superfície do objeto. A maioria dos sistemas de imagem 3D tem problemas em medir um objeto ou superfície altamente reflexiva e a maior probabilidade de não obter medições estão associados a superfícies e objetos de menor reflexividade, ou seja, mais escuras, resultando em zonas de oclusão ou falta de informação ou *clutter*, e também superfícies húmidas, como asfalto húmido. O material do objeto também afeta as medidas: podem aparecer dificuldades na medição de vidro, plásticos, metais usinados e mármore. O aumento do ruído de medição também ocorre quando se faz o levantamento a *laser* de objetos em ângulos oblíquos: o ruído aumenta à medida que o ângulo aumenta, o que impede a leitura correta de determinados elementos. Fatores ambientais também contribuem para o erro da varredura: a expansão térmica de um objeto afeta as medições, por exemplo a varredura de um tubo quando está quente e quando está frio e a digitalização de uma parede aquecida pelo sol e digitalizar a mesma parede à noite. As medições nestas situações podem ser significativamente diferentes e podem causar erros de registo. O aquecimento dos tripés e a existência de vento, chuva ou neve, pode causar o movimento do instrumento e resultar em falsos resultados, tanto da máquina fotográfica como do *scanner*. Para além dos inconvenientes descritos, os problemas associados às câmaras estão relacionados com erros sistemáticos e não sistemáticos: a razão sinal/ruído muito baixa, materiais refletivos e o espalhamento da luz, artefacto de movimento e distorção nas lentes, que podem ser eliminados com procedimentos de calibração adequada [20].

A vantagem mais importante de usar LS é a sua precisão: um milímetro que é ideal para a maioria das aplicações. Podemos gerar automaticamente modelos 3D usando LS, e depois optimizá-los usando o software para optimização automática, a fim de obter bons resultados. Se podemos extrair texturas de objetos usando esta tecnologia, então podemos criar modelos com alto nível de detalhes, alta precisão, modelos que parecem muito reais [38]. A principal desvantagem do scanner a laser é que ele não pode gravar elementos que são obscurecidos por características adjacentes, pela vegetação ou, de outra forma, além do seu alcance como as partes superiores ou inferiores das estruturas. Por vezes demora mais tempo para configurar o equipamento e produzir os scans nos vários locais necessários para registar todos os elementos do que simplesmente medir à mão, nos casos em que não é necessária tanta precisão. A optimização da nuvem pode ser problemática porque apresenta um ficheiro pesado e não pode



ser otimizada sem perder a qualidade geral. A otimização pode ser muito destrutiva nos modelos gerados pelo LS [38].

Por outro lado, o processo de fotogrametria é mais demorado e intensivo, devido à calibração e correções de erros sistemáticos e métricos, mas também das ferramentas SfM podem resultar deformações geométricas. Os algoritmos de processamento fotogramétrico podem sofrer problemas iniciais como a qualidade de imagem, que pode ter ruído, qualidade radiométrica baixa, sombra e outros, ou a refletividade da superfície de certos materiais, o que pode resultar em nuvens de pontos com ruído ou em dificuldades na sua obtenção. Além disso, uma distância terá de ser conhecida à partida ou utilizados pontos de controlo para se proceder ao projeto de medição com fotogrametria [25]. O uso de câmaras e *drones* como dispositivos de levantamento vêm com a desvantagem de dependerem maioritariamente da luz ambiente e por obterem menor precisão geométrica comparada com as nuvens de pontos do *laser scanning*. No entanto, as câmaras são vantajosas, que podem ser manuseadas e transportadas mais facilmente e são de aplicação parcimoniosa. Com o uso de uma câmara, por exemplo com o auxílio de um *drone*, o levantamento de zonas com difícil acesso do edifício torna-se possível em vez da utilização do *laser scanning* [17]. No entanto, a fotogrametria também apresenta alguns inconvenientes, pois requer muito tempo para a sua aplicação, um técnico especializado para alcançar bons resultados, mas se o projeto em si requer melhor precisão deve ser escolhido o *laser scanning*. A melhoria da precisão da nuvem de pontos proveniente da fotogrametria pode ainda ser adquirida, mas requer muito tempo adicional para este objetivo. A modelação totalmente automatizada através da fotogrametria ainda é um tópico de pesquisa na área da modelação 3D [38].

A principal diferença entre estas duas abordagens é que a digitalização a *laser* é focada na grade de pontos, sem levar em consideração estruturas de objetos específicas, como cantos ou arestas. Por outro lado, as medições fotogramétricas concentram-se em descontinuidades de objetos e estruturas representativas, mesmo sem gerar nuvens de pontos densas [38].

Recentes publicações têm comparado técnicas de levantamento baseadas em imagem e alcance a nível da precisão, resolução e reconstruções densas em 3D. A escolha hoje em dia depende principalmente das restrições e requisitos do projeto, do custo do equipamento e da experiência na técnica, do que propriamente nas propriedades geométricas e precisão da densidade de pontos, visto que cada vez se assemelham mais [25]. Paralelamente às duas técnicas acima comparadas existem desvantagens que ambas apresentam: ainda existem

objetos que não podem ou apresentam problemas ao serem levantados com nenhuma das técnicas, por exemplo vidro, objetos transparentes, demasiado polidos ou espelhados e materiais brilhantes. Para além disso, nenhum dos métodos é ainda totalmente automatizado, ou seja, obter a nuvem de pontos com informação semântica, um passo que seria importante para evitar a modelação BIM manual [38, 15]. Em suma, a comparação das duas técnicas encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2. Comparação das características das técnicas *laser scanning* e fotogrametria, adaptado [15, 42, 36]

<b>Características</b>	<b><i>Laser scanning</i></b>	<b>Fotogrametria</b>
Aplicabilidade em edifícios existentes	Sim	Sim
Custo do equipamento e aplicação (€)	Dezenas de milhares	Centenas
Tempo	Médio	Rápido
Precisão	Milímetro	Centímetro
Resolução	Milhões de pontos	Centenas de pontos
Formação de dados 3D	Captura automática	Pós-processamento
Influência da complexidade do edifício	Alta	Alta
Influência das condições ambientais	Alta	Alta
Formação de nuvem de pontos	Sim	Sim
Interoperabilidade com BIM	Sim	Sim
Volume/ Tamanho da informação/dados	Alto	Médio
Grau de automação	Médio	Médio
Operabilidade	Baixo	Médio
Dificuldade da portabilidade do equipamento	Alta	Baixa
Durabilidade do equipamento	Médio	Alto
Nível de especialização necessário	Alto	Médio

### 2.3. *City Information Modeling*

Com o aparecimento das tecnologias informáticas e de comunicação aplicadas ao ramo das AEC, nomeadamente o *Building Information Modeling*, aliadas aos sistemas de informação geográfica GIS e no sentido de os aproveitar no seu modo completo, surgiu o aparecimento do conceito CIM, *City Information Modeling*, uma forma de organizar a informação de uma cidade inteligente [43, 44]. CIM define-se como uma abordagem interdisciplinar para a criação de modelos de dados espaciais nos quais a integração, aplicação e visualização de informações da cidade são utilizadas para gerir os terrenos, propriedades e recursos ambientais. [41].

Atualmente as cidades necessitam de se desenvolver e transformar de forma abrangente, desde a altura até à profundidade, desde edifícios existentes a novas estruturas, e carecem de bases de informação para o efeito. Por exemplo, para gerir a informação de edifícios existentes no sentido de fornecer informações a investidores, empreiteiros no caso de reabilitação, e manter sempre os documentos de cada um dos edifícios numa base de dados segura e restrita. Outro exemplo: as infraestruturas de transporte subterrâneo estão expostas a muitos problemas como o cálculo da exposição solar, a gestão da rede subterrânea de tubagem e a gestão do espaço subterrâneo, o que não pode ser resolvido apenas com base em informação bidimensional. Em adição, a informação não é apenas estática: objetos dinâmicos como os próprios transportes e as pessoas seriam também tomados em consideração nas informações. Portanto, o desenvolvimento do modelo de cidades 3D torna-se imperativo [42].

Por outro lado, a cartografia digital baseada em aerofotogrametria permite o mapeamento necessário ao planeamento, gestão e monitorização das cidades, que rapidamente evoluiu, incorporando recursos como a Modelação Digital de Terreno (ou DEM, *Digital Earth Model*) que permitiu a representação da superfície da terra em três dimensões. Paralelamente, a varredura a *laser* aérea, a modelação geométrica e o *City Geography Markup Language*, que agregaram a possibilidade da representação tridimensional da cidade, incluindo edifícios, vias e sistemas de transporte, redes de infraestruturas, recursos hídricos e vegetação. Todos esses sistemas, componentes e recursos urbanos são dotados dos seus atributos semânticos mais significativos [46, 47]. Estas evoluções levaram ao desenvolvimento de aplicações da modelação paramétrica especializada para o planeamento urbano com o denominado “urbanismo paramétrico” ou “*city CAD*” para essas ferramentas e recursos [43]. Dessa forma,

com a evolução tecnológica e o “*internet of things*”, também são incorporados uma variedade de sistemas, sensores especializados e câmaras de vídeo para a gestão do tráfego e da segurança pública, à medição da poluição, da precipitação em áreas de risco ou mesmo de simples dados atmosféricos, associados a sistemas em tempo real [43].

O modelo digital atual da cidade é um conceito que deriva do termo DE, *Digital Earth*, com informação urbana digital, que se baseia em dados geoespaciais de infraestrutura urbana, fazendo uso das tecnologias *Geographic Information Sciences*, GIS [44]. O CIM está apenas nas fases iniciais de desenvolvimento para se obter um modelo virtual e tridimensional detalhado do espaço urbano, apesar de existirem bastantes iniciativas de alcançar um novo paradigma para gerir o desenvolvimento urbano, abrangendo vastas ferramentas computacionais para concretizar a cooperação de fluxos de trabalho e a integração de informação variada. O conceito de CIM pode ser interpretado como um elemento a incorporar na formação de *Smart Cities*, mas não como um sinónimo [42]. Apesar da aposta na modelação das cidades para o planeamento urbano, gestão do uso do terreno e do tráfego, entre outros, a principal dificuldade consiste na partilha e troca de informação entre as diferentes especialidades [45]. A forma de partilha de informação implementada e normalizada no BIM pode ser aplicada ao CIM, configurando a tempo real a conformidade e relações dos dados quando um deles se altera e garantir a eficiência e qualificação dos projetos. Deste modo, é urgente definir padrões e normas relevantes para a construção de cidade digital e suporte a dados científicos para a tomadas de decisão urbanísticas [45].

Outro tipo de modelos dos edifícios “individuais”, são desenvolvidos pelas organizações de AEC, muito detalhados geometricamente [44]. Atualmente o BIM é limitado às áreas da AEC, com escassez de informação geográfica. Por outro lado, o GIS é amplamente utilizado na modelação de informações 3D georreferenciadas, informações que podem ser adquiridas por técnicas de levantamento como *laser scanning* e fotogrametria, por isso tem a vantagem do levantamento da superfície da cidade de forma rápida. Contudo, quando se trata de modelos e informações internas referentes às mesmas superfícies, o GIS não os apresenta graficamente. Com base nesta situação, várias tentativas têm sido estudadas para integrar a informação de BIM e GIS para fornecer uma solução eficaz para a modelação de informações da cidade [46].

A teoria ideal para se proceder a esta modelação em grande escala seria: após o levantamento dos edifícios existentes, proceder à sua modelação BIM de edifícios e equipamentos da cidade

individualmente ou em conjunto e estes seriam agrupados geograficamente através das tecnologias GIS num só modelo tridimensional [45].

### **2.3.1. *Building Information Modeling***

BIM é um processo que envolve a conceção e gestão de modelos tridimensionais paramétricos com objetos que funciona como repositório da informação das características físicas e funcionais de um edifício [47]. Como tal, os modelos funcionam como recursos de conhecimento partilhado e interligado para inserir, obter e modificar informações sobre um edifício para consulta e tomada de decisões, durante o seu ciclo de vida, desde o planeamento à demolição ou renovação, sendo mais utilizados em projetos de reduzida escala [48]. Os modelos 3D permitem a extração automática de tabelas de quantidades de materiais e adicionalmente a estes modelos 3D, existem as dimensões do BIM: 4D, 5D e 6D referentes ao planeamento da obra, o preço relativo aos objetos e informações sobre a gestão do edifício, respetivamente [4, 52].

Os *Building Information Models* por um lado são muito potentes relativamente aos vários usos que se lhes podem atribuir, como a visualização geométrica tridimensional e o controlo da informação paramétrica dos elementos que os constituem, mas por outro são bastante limitados quando se trata da informação do espaço circundante e localização geográfica [49]. Para a realização de um projeto em ambiente BIM normalmente é fornecida a informação relativamente à localização do edifício, como o Plano de Pormenor e outros documentos nos quais conste a localização geográfica. Ulteriormente, na realização do modelo, é usado um sistema de coordenadas locais e a informação geográfica apenas é utilizada para a obtenção de cotas topográficas para o auxílio da modelação [50]. Como resultado, o modelo carece de localização real e consequentemente o planeamento espacial para a gestão da construção, análise ambiental e de segurança é bastante limitado para realizar estudos em ambiente urbano [51]. Assim, mais uma vez, surge a necessidade de *City Information Modeling* [44].

### **2.3.2. Interoperabilidade do BIM**

No contexto BIM, a interoperabilidade define-se como a capacidade de transmissão de dados entre aplicações, bem como a capacidade de várias aplicações trabalharem em conjunto [52]. O intercâmbio e partilha de informações é possível diretamente, ou através de formatos de

troca proprietários ou não proprietários. O IFC definido na ISO/PAS 16739:2005 é um formato internacional não proprietário de informação de edifícios utilizado pelos diversos participantes em aplicações AEC e FM numa construção ou gestão de um projeto [53]. Foi desenvolvido pela *buildingSMART* (Figura 20) para representar a informação do edifício em todo o seu ciclo de vida, exceto na desconstrução, e para facilitar a transferência de dados entre aplicações de modelação BIM, por exemplo o *Revit Architecture*, visualizadores de IFC, como o *Nemetschek IFC Viewer*, e aplicações especializadas como o *Solibri Model Checker* [54]. Adicionalmente, a utilização de um formato global reduz perdas parciais de informações na transposição de uma fase de projeto para outra [4].

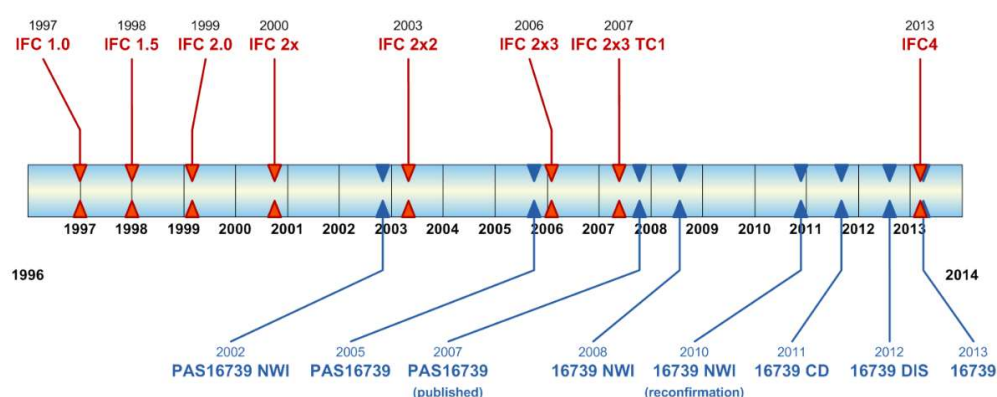


Figura 20. Histórico do desenvolvimento do IFC [55]

A permuta de dados entre os sistemas de origem e os de recolha são realizados principalmente através de tradutores proprietários com estruturas de dados próprias e certificações como *openBIM* da *buildingSMART* e NBIMS premeiam soluções de aplicação com resultados de alta interoperabilidade. A interoperabilidade do BIM em diferentes estádios e funcionalidades do ciclo de vida ainda é limitada devido a atributos, denotações ou conteúdos do IFC, por vezes utilizados de forma diferente ou ambígua [15].

Recentemente, é estudada a implementação do *Specifiers Information Exchange*, SPie, documento que estabelece as definições mínimas de objetos BIM, contidas em *templates* para especificações de 498 objetos BIM e tecnologias web em vários formatos abertos para permitir o uso especializado dos programas, que ainda são solicitados maioritariamente no campo académico [15]. O documento é baseado nas especificações UFGS, *Unified Facilities Guide Specifications*, e COBie, que forneceram as informações para definir propriedades de objeto BIM necessárias para suportar as especificações de construção e os requisitos de transferência de informações. Cada objeto é classificado com base na Tabela de Produtos da OmniClass [15, 56].

O IFC é definido como a linguagem de modelação de dados EXPRESS, e as entidades no IFC são referidas por número de linha, e as classes do IFC são divididas em quatro camadas: recursos, núcleo, interoperabilidade e domínio. O IFC também tem uma versão XML, o IfcXML, que pode ser trocado usando serviços *web*, mas não é tão amplamente utilizado como IFC baseado em EXPRESS [49]. O IFC é um esquema de dados orientado a objetos e baseado principalmente na tecnologia STEP, que é um formato que pode representar objetos 3D em CAD [15, 49].

Na última versão, o IFC 4, foram dados passos adicionais para a interoperabilidade com Sistemas de Informação Geográfica, GIS, incluindo novos elementos geográficos, como *IfcGeographicElement* e *IfcGeographicElementType*. Este formato foi anunciado em abril de 2013 e as outras atualizações são as seguintes:

- Melhora a capacidade da especificação IFC nos seus principais elementos arquitetónicos e de construção, com novas características geométricas, paramétricas e outras;
- Possibilita inúmeros fluxos de trabalho BIM, incluindo trocas de modelo 4D e 5D, fabricantes, bibliotecas de produtos, interoperabilidade BIM para GIS, simulações térmicas e avaliações de sustentabilidade e liga todas as definições das propriedades do IFC à biblioteca de dados da *buildingSMART*;
- Melhora a acessibilidade à documentação com vários conceitos de implementação;
- Contém esquema ifcXML4, totalmente integrado na especificação IFC além do EXPRESS;
- Está totalmente integrado com a tecnologia mvdXML e permite a fácil definição de serviços de validação para as apresentações de dados em IFC4 e corrige problemas técnicos encontrados desde a última versão [57].

Para além do formato universal, a *buildingSMART* possui mais duas especificações para a troca deste tipo de informação: o IFD, *Internacional Framework for Dictionaries*, e o IDM, *Information Delivery Manual* [58, 59].

O MVD, *Model View Definition* ou IFC *View Definition* define um subconjunto do IFC que é necessário para satisfazer um ou vários requisitos mínimos para uma troca de informações específica entre duas aplicações e a sua estrutura contém as informações relevantes para um fluxo eficaz e rápido de informações entre as partes interessadas sinónimo [42]. As definições do MVD são codificadas num formato MVDXML e definem atributos particulares a tipos de

dados específicos como por exemplo: um MVD pode exigir que uma parede forneça uma classificação de acordo com a Tabela 22 de *OmniClass* e informações necessárias para análise estrutural, como o módulo de elasticidade dos materiais. Em casos complexos podem ser apresentados em gráficos de objetos e para casos simples num único atributo para um só tipo de dados [57]. Os MVD referem-se principalmente a requisitos dos novos edifícios sendo que não existem do MVD para auditorias de edifícios existentes [15].

O COBie, *Construction Operations Building Information Exchange*, é um formato de dados não-proprietário criado por William East em 2007 para melhorar o processo de entrega de informações aos proprietários de edifícios, ocupantes e operadores que lhes permitam gerir os seus ativos de forma mais eficiente, focado em fornecer informações de ativos, em vez de informações geométricas [15, 60]. O COBie ajuda a obter e registar dados importantes do projeto no ponto de origem, incluindo listas de equipamentos, folhas de dados dos produtos, garantias, listas de peças, cronogramas de manutenção preventiva e assim por diante. Estas informações são essenciais para suportar operações de manutenção e gestão de ativos assim que o ativo construído estiver em serviço. Em adição, é constituído por uma matriz de responsabilidades que atribui os tipos de dados necessários às especialidades responsáveis [15, 60].

	A	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	Name	ExtSystem	ExtObject	ExtIdentifier	SerialNumber	InstallationDate	WarrantyStartDate	TagNumber	BarCode	AssetIdentifier	Length	Area	
26	Beam	n/a	Beam	20rWitJ6z	Available	n/a	n/a	n/a	Available	n/a	0,104	n/a	
27	Beam	n/a	Beam	20rWitJ6z	Available	n/a	n/a	n/a	Available	n/a	0,157	n/a	
28	Beam	n/a	Beam	20rWitJ6z	Available	n/a	n/a	n/a	Available	n/a	0,104	n/a	
29	Beam	n/a	Beam	20rWitJ6z	Available	n/a	n/a	n/a	Available	n/a	0,105	n/a	
30	Bed	n/a	Furniture	20Brcmyk	Available	n/a	2012	n/a	Available	n/a	n/a	n/a	
31	Bed	n/a	Furniture	20Brcmyk	Available	n/a	2012	n/a	Available	n/a	n/a	n/a	
32	Bed	n/a	Furniture	20Brcmyk	Available	n/a	2012	n/a	Available	n/a	n/a	n/a	
33	Bed 001	n/a	Furniture	20Brcmyk	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
34	CW-001	n/a	Curtain Wall	1aQMNoq	Available	n/a	2012	n/a	Available	n/a	9,14	29,26	
35	Cabinet	n/a	Furniture	0wkEuT1w	Available	n/a	2012	n/a	Available	n/a	n/a	n/a	
36	Cabinet	n/a	Furniture	0wkEuT1w	Available	n/a	2012	n/a	Available	n/a	n/a	n/a	
37	Cabinet	n/a	Furniture	0wkEuT1w	Available	n/a	2012	n/a	Available	n/a	n/a	n/a	
38	Cabinet	n/a	Furniture	0wkEuT1w	Available	n/a	2012	n/a	Available	n/a	n/a	n/a	
39	Cabinet	n/a	Furniture	0wkEuT1w	Available	n/a	2012	n/a	Available	n/a	n/a	n/a	
40	Cabinet	n/a	Furniture	0wkEuT1w	Available	n/a	2012	n/a	Available	n/a	n/a	n/a	
41	Cabinet	n/a	Furniture	0wkEuT1w	Available	n/a	2012	n/a	Available	n/a	n/a	n/a	
42	Cabinet	n/a	Furniture	0wkEuT1w	Available	n/a	2012	n/a	Available	n/a	n/a	n/a	

Figura 21. Estrutura do COBie [60].

Para fins de manutenção e desconstrução em edifícios existentes, as partes interessadas e suas funções são definidas no COBie e podem ser associadas a objetos BIM para os quais são responsáveis, mas não apresenta características arquitetónicas como lajes, imprescindíveis para um trabalho de reabilitação [15]. A informação segundo o COBie é entregue durante o projeto durante o ciclo de vida e, embora forneça o formato para a informação, não especifica os requisitos para propriedades específicas do produto [54]. Geralmente, as quedas de



informação estão alinhadas às fases do projeto e a informação necessária reflete o nível de desenvolvimento que o projeto deveria ter alcançado nessa fase. À medida que se desenvolve, o arquivo COBie pode conter dados de consultores, contratados, subcontratados e fornecedores, e até mesmo do cliente [15].

### **2.3.3. *Level of Development - BIM***

O modelo de BIM, tal como referido anteriormente, é o conjunto de objetos, que contêm a informação de um edifício. A indústria da construção necessita de acesso a objetos BIM que possam ser usados livremente, seguros no seu conteúdo a nível de informações corretas como a geometria apropriada e um formato consistente, estruturado e fácil de aplicar [61].

O processo de modelação de objetos em modelos BIM segue um procedimento de desenvolvimento que se traduz pelo incremento do nível de informação, geométrica e semântica, que está contida nos vários elementos que compõem um modelo BIM [62]. O processo de criação de modelos BIM difere do tipo de edifício: a construir ou existente, devido à variação da qualidade e disponibilidade dos requisitos da informação. Quando aplicado à modelação de edifícios existentes, é importante escolher a técnica de levantamento mais adequada de modo a satisfazer o nível de desenvolvimento para os *outputs* [15].

Para determinar o nível de desenvolvimento, é necessário seguir um sistema capaz de classificar a informação contida em cada elemento do modelo [62]. As descrições das definições LOD, ou nível de desenvolvimento, de acordo com a especificação LOD 2013 onde são definidas seis categorias: LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 350, LOD 400 e LOD 500 [4, 62, 63]. Relativamente à desconstrução ou reabilitação, nenhum LOD está definido [15].

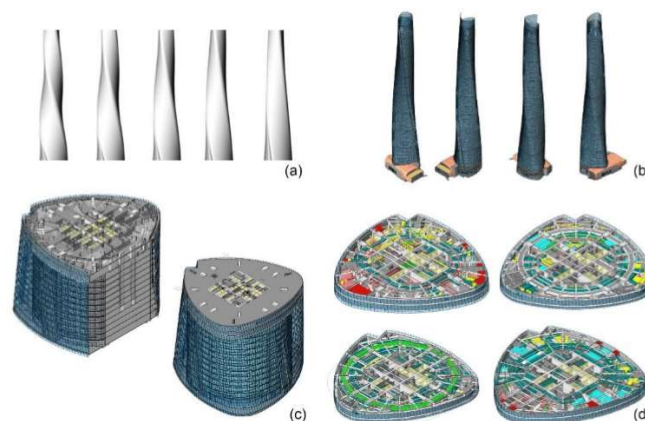


Figura 22. Exemplo do nível de desenvolvimento LOD 100 a 400, (a) a (d) respetivamente

Para além do LOD, várias estruturas de avaliação e controlo dos modelos BIM estão em desenvolvimento, como o CMM. O CMM, Capacidade de Maturidade do Modelo, é usado em contextos BIM para avaliar se os projetos ou processos BIM atingem o nível desejado de funcionalidade [15]. A estrutura do CMM formula as capacidades e os requisitos mínimos do modelo BIM com dez níveis de maturidade do BIM definidos para categorias de: capacidade espacial, especialidades, riqueza de informações, método de entrega, gestão da maturidade, processo de negócio, precisão da informação, *lifecycle views*, informação gráfica, pontualidade e resposta, assim como interoperabilidade e IFC. As associações profissionais tentam definir conceitos e classificações que medem os requisitos e as capacidades de dados do BIM, mas ainda não surgiu um quadro de avaliação padrão para edifícios novos e existentes [15].

A *BIM Object Standard* é uma norma da NBS, *National Building Specification*, que define requisitos para a informação, geometria, comportamento e apresentação de objetos BIM, para dar garantia de qualidade à colaboração e partilha de informação eficiente para a indústria da construção. Ao padronizar objetos BIM, é possível usar, analisar e partilhar informações de forma consistente para tomar decisões concisas com rapidez e confiança. O padrão é primordial, não apenas para a NBS, mas para todos aqueles que criam objetos BIM, visto que é possível criar objetos BIM para uma base de dados comum, com as informações detalhadas, mas estruturado e com formato fácil de aceder e usar. À medida que mais e mais ativos são construídos e geridos através das tecnologias BIM, a introdução deste padrão revolucionará a maneira os utilizadores interagem com as informações. Assim, a NBS produziu um padrão global para objetos BIM com um conjunto de critérios, no qual todos os objetos BIM podem ser criados [60].

### 2.3.4. *Geographic Information Systems*

Ao contrário do BIM, os Sistemas de Informação Geográfica, GIS, são capazes de executar análises espaciais através de representações físicas e funcionais de um ambiente exterior a uma larga escala [50]. Os conteúdos mais procurados nos sistemas GIS podem ser resumidos a localizações, condições, tendências e modelos. A Ciência de Informação Geográfica é desenvolvida para armazenar, gerir e analisar informação de cariz espacial baseada em tecnologias geomáticas numa base de dados relacional [49]. No interior deste domínio a troca de dados geoespaciais e a interoperabilidade entre sistemas são estabelecidas usando a linguagem GML, *Geographic Markup Language* [46].

Os GIS permitem a análise e integração espacial de dados, os quais são é possível manipular relativamente à quantidade, ao tipo de informação e à ordem em que a informação é disposta e visualizada nas camadas de sobreposição do mapeamento, permitindo exibir e analisar a informação seletivamente [64]. Em 2011, a ESRI definiu os GIS como um “sistema de *hardware*, *software*, dados geográficos e recursos projetado para recolher, armazenar, analisar, editar, manipular, e disponibilizar todas as informações geograficamente referenciadas e a capacidade de processar dados geográficos a partir de uma variedade de fontes de informação e integrá-lo num mapa” [64].

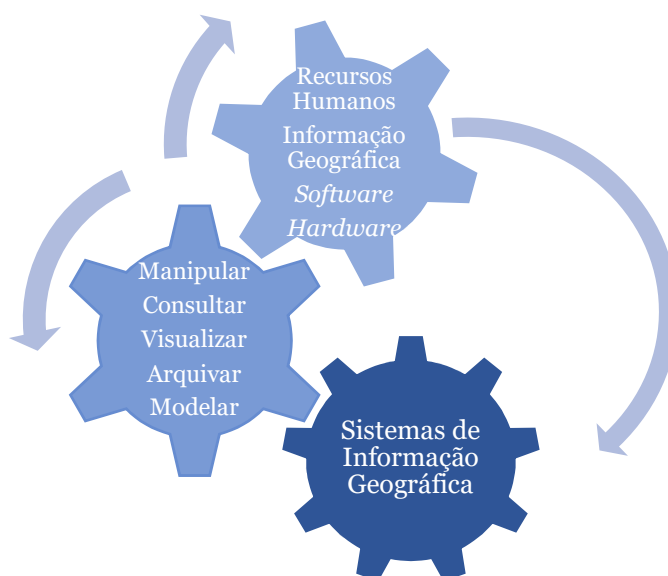


Figura 23. Recursos necessários e funcionalidades dos GIS, adaptado [64]

O GML é um esquema idêntico ao XML, *Extensible Markup Language*, usado para exprimir características geográficas normalizada pela OGC, *Open Geospatial Consortium*. O GML serve como uma linguagem modelo para sistemas geográficos, bem como um formato de troca aberto para partilha de informações geográficas na Internet. Como acontece na maioria das linguagens baseadas em XML, esta tem duas partes: o esquema que descreve o documento e o documento *instance* que contém os dados. A norma ISO 19136:2007 providencia regras para o mapeamento de um esquema de aplicação para um esquema em GML [65]. Um documento GML é descrito usando um esquema GML, permitindo que os utilizadores e programadores descrevam conjuntos de dados geográficos genéricos que contenham pontos, linhas e polígonos [66]. No entanto, estes sistemas de informação geográfica estão privados de um repositório de informação detalhada e compreensível dos edifícios [49].

A OGC, *Open Geospatial Consortium*, é a entidade responsável pela normalização na área de sistemas de informação geográfica. Um dos seus padrões é a GML, *Geography Markup Language*, para o transporte e armazenamento de informações geográficas incluindo propriedades espaciais e não-espaciais de características geográficas [42].

*InfraGML* e *CityGML* são dois *Application Schemas* do GML para modelação de infraestrutura e cidades, respectivamente. O *InfraGML* ainda não possui uma versão consolidada, mas baseia-se num subconjunto da *LandXML*. O *LandXML* é um esquema de dados utilizado pela largamente na área de Engenharia Civil, terraplanagem e levantamento de terrenos. No entanto, existem várias inconsistências entre o *LandXML* e as diretrizes da GML, e para as resolver foi criado o subconjunto *InfraGML* que atende aos requisitos do GML.

O *CityGML* atualmente é o formato padrão mais utilizado para a troca de informações urbanas em domínio geoespacial e também para a modelação semântica 3D, facto muito importante para a integração das tecnologias BIM com GIS. O *CityGML* é definido como um modelo de informação semântica comum que representa os objetos 3D no contexto geoespacial e pode ser partilhado por diferentes aplicações. O objetivo é estruturar a informação da cidade e as suas características num só modelo. Desenvolvido a partir do GML, o *CityGML* define a geometria tridimensional, a tipologia, a informação e a visualização dos objetos topográficos urbanos mais relevantes. O formato começou a ser desenvolvido pela OGC em 2002 e em 2008 tornou-se padrão internacional [42].

O CityGML representa a parte geométrica do formato GML baseada em B-Rep, *Boundary Representation*, que apresenta formas pelos seus limites, o que garante a interoperabilidade, mas restringe a sua funcionalidade, sendo mais complexo de usar. Os objetos que fazem parte do modelo em *CityGML* estão agrupados em onze módulos e um núcleo [42]:

Tabela 3. Módulos do *CityGML* [44]

<b>Módulo do <i>CityGML</i></b>	<b>Descrição</b>
Núcleo	Estrutura básica do modelo de informação.
Aparência	Fornece ao modelo a forma de exibição dos objetos.
<i>Building</i>	Providencia a informação semântica e espacial do edifício, o seu local e a sua instalação.
<i>City Furniture</i>	Designação de mobiliário urbano, como pontes, túneis, etc.
<i>City Object Group</i>	Regra de agrupamento para informações no modelo.
Relevo	Descrição superfície do modelo da cidade.
Transporte	Descrição da característica dos transportes da cidade.
Vegetação	Descrição da vegetação da cidade.
<i>Water Body</i>	Descrição dos sistemas de água da cidade.
Textura da superfície	Fornecer visibilidade e textura da superfície de modelos 3D, como cor, luz e transparência. Pode ser fundido com a “Aparência”.
Uso do solo	Descrição do uso do solo.
Genéricos	Extensão, permitindo a adição de novas propriedades e elementos ao modelo de dados do cityGML.

Na Figura 24 estão representados os módulos em que o modelo é dividido:

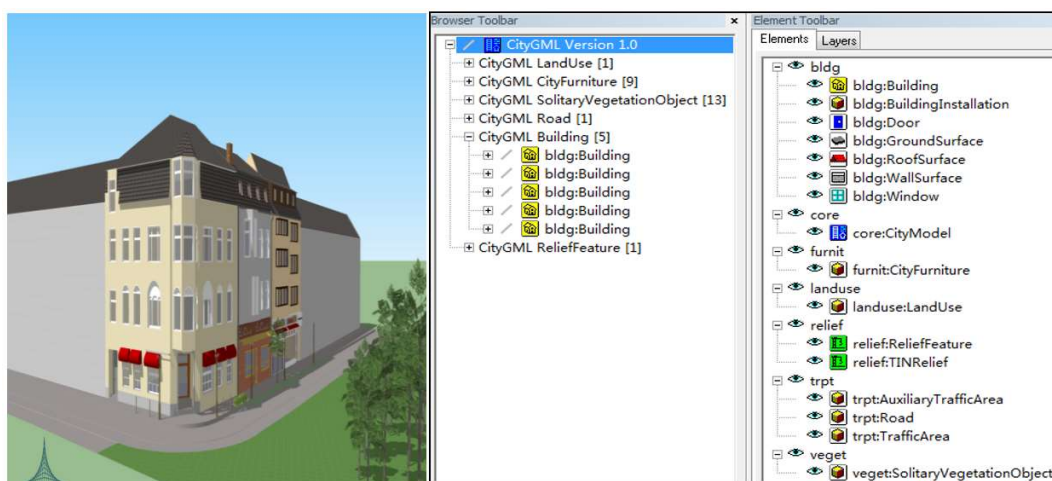


Figura 24. Data set do CityGML [44]

Pode-se estabelecer que o CityGML é um padrão para a implementação do 3D GIS. O CityGML atualmente é considerado o núcleo de informação para modelos tridimensionais de cidades como os modelos de Berlim, Nova Iorque, Montreal, entre outras, com aquisição de informações por fotogrametria e *laser scanning* [67].

Infelizmente, o CityGML é incapaz de suportar modelos 3D arquitetónicos de alta resolução, pois as entidades geométricas suportadas ainda estão limitadas a representações mais simples e *standard* [44]. No entanto, as aplicações para trabalhar com este formato já são várias, tanto para visualizar o ficheiro como para programar o seu esquema:

Tabela 4. Visualizadores e API para os modelos CityGML [67]

Visualizadores	API para programadores
<i>Azul</i>	<i>citygml4j</i>
FME	<i>CodeSynthesis XSD</i>
<i>FZKViewer</i>	FME
	<i>HUMBOLDT Alignment Editor (HALE)</i>
	<i>libcitygml</i>
	<i>ogc-schemas</i>
	OGR

Para a criação do modelo, também se encontram várias aplicações disponíveis no mercado, sejam *plug-ins* para *software* conhecidos como programas que permitam a criação de polígonos com elevação a partir de informações GIS 2D, que se apresentam enumeradas:

- **3dfier**: transforma conjuntos de dados GIS 2D, levantando cada polígono até sua altura, obtido com as tecnologias LiDAR. O *output* é *CityGML*;
- **CityEditor**: é uma extensão para o *SketchUp* que permite importar, editar e exportar modelos *CityGML* através do *SketchUp*;
- **osm2citygml**: ferramenta que converte formatos XML de edifícios para *CityGML*
- **Random3Dcity**: mecanismo básico de modelação para gerar edifícios aleatórios sintéticos e outros recursos no *CityGML* em vários níveis de detalhe LOD;
- **RhinoCity**: *plug-in* para o *Rhino* para criar facilmente modelos 3D com textura a partir de dados como vetores de telhado, imagens aéreas ou nuvens de pontos;
- **virtualcitySYSTEMS – Building Reconstruction**: os modelos de cidades 3D podem ser obtidos automaticamente, a partir de dados de elevação digital, nos formatos *CityGML* e *ESRI-Shape* [67].

### 2.3.5. Level of Detail - CIM

De forma semelhante, uma vez que o CIM é o “conjunto do BIM”, também é aplicada a especificação do nível de avaliação dos modelos. No entanto, enquanto que a avaliação do modelo BIM é realizada ao nível do detalhe da informação, a do modelo CIM é ao nível do detalhe geométrico. O *CityGML*, cujo principal objeto é a edificação, implementa vários conceitos para suportar interoperabilidade, consistência e funcionalidade e para isso possui cinco níveis de detalhe geométrico em que cada objeto pode ser representado [42]. O *CityGML* suporta diferentes níveis de detalhe LOD, resultantes de processos independentes de recolha de informações e são usados para visualização e análise de dados. O mesmo objeto pode ser representado em diferentes LOD simultaneamente, permitindo a análise e visualização do mesmo objeto em relação a cinco níveis de detalhe geométrico no *CityGML*:

- **LOD0**: Modelo de Terreno Digital, DEM, de duas e meia dimensões, sobre o qual uma imagem aérea ou um mapa é representado;
- **LOD1**: Modelo de massas ou blocos bem conhecidos, sem estruturas de telhado ou texturas;
- **LOD2**: Blocos com estruturas de telhado, texturas diferenciadas e objetos de vegetação também podem ser representados;

- **LOD3:** Modelos arquitetónicos com estruturas detalhadas de parede e telhado, varandas, e objetos exteriores como portas e janelas. Texturas de alta resolução podem ser mapeadas nessas estruturas e objetos detalhados de vegetação e transportes também podem ser representados num modelo LOD3.
- **LOD4** completa o modelo anterior adicionando estruturas interiores como quartos, portas interiores, escadas e móveis, contendo a informação detalhada em relação ao interior dos edifícios [46, 64, 68].

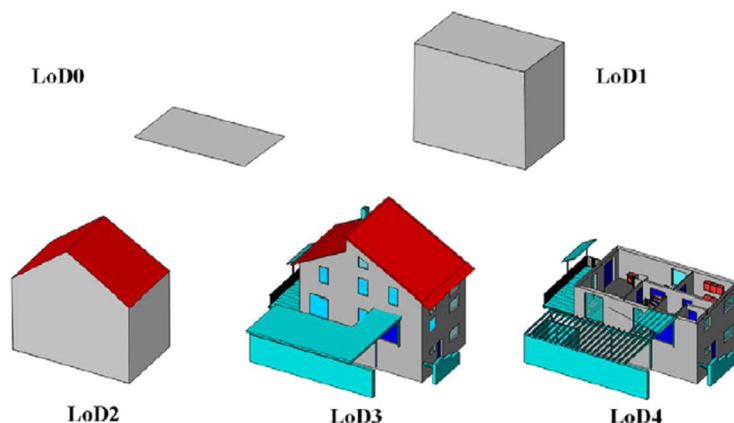


Figura 25. Níveis de detalhe dos modelos da informação da cidade divididos em cinco níveis [68]

Os níveis de detalhe permitem facilitar a integração de dados e a interoperabilidade num modelo, apresentar requisitos específicos para certas aplicações, permitem uma correspondência com o método de levantamento e facilita tarefas de visualização e análise, permitindo que uma mesma característica possa ser representada em mais de um LOD. O objetivo do modelo é apresentar a informação dos objetos e com a caracterização dos atributos e relações de cada tipo de objeto. As aplicações do modelo podem ser: simulação e mapeamento da propagação de ruído, aspetos energéticos de edifícios, circulação no interior dos edifícios, gestão de riscos e desastres naturais e questões de segurança nacional, entre outros [46].

No entanto, está em desenvolvimento a classificação do LOD por níveis mais detalhados como se pode observar na Figura 26, devido à falta de uma especificação precisa de cada LOD. Os cinco níveis atuais são muito genéricos, ou seja, dois níveis significativamente diferentes podem ser considerados como o mesmo LOD conforme a especificação atual. A proposta atual é uma especificação em três LOD do *CityGML* e cada um é repartido em quatro subníveis, apresentando as capacidades das técnicas de aquisição das informações e outras especificações geométricas e semânticas [67].



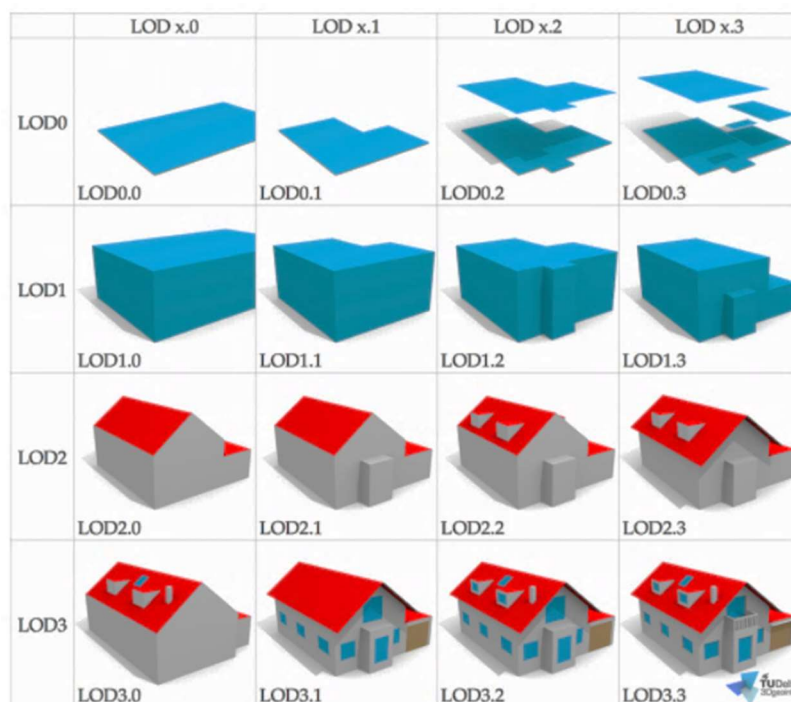


Figura 26. Especificação dos quatro níveis de LOD [67]

Relativamente a ao nível de detalhe no CIM ou desenvolvimento no BIM, alguns trabalhos foram publicados comparando o IFC com o *CityGML*. A Tabela 5 apresenta as principais diferenças entre os modelos [42]:

Tabela 5. Principais diferenças entre o IFC e o *CityGML*

IFC	<i>CityGML</i>
Objetos com informação atribuída para a construção e projeto, provendo assim geometria, detalhes e materiais de elementos construtivos tais como vigas, lajes e paredes;	Descrição do uso dos edifícios e a sua visualização. Por exemplo, os objetos parede e teto são definidos como um único objeto;
Representação geométrica: CSG;	Representação geométrica: B-Rep;
O objetivo é representar um edifício;	Objetivo: representar objetos relacionados ao transporte, terreno, ou recursos hídricos;
Apenas um LOD para a informação do objeto, podendo ser apresentado por mais de um nível de detalhe geométrico.	Representação multi-resolução, os LOD são associados aos níveis de detalhe e não de informação.

A conclusão é que o IFC contém a informação necessária para formar os modelos no *CityGML*, independentemente do nível de detalhe que é pedido.

### 2.3.6. Integração BIM-GIS

Atualmente há um crescente interesse na integração das ferramentas BIM em ambiente GIS, originando os modelos SIG3D, os quais resultam da adição de informação a modelos digitais tridimensionais de objetos. Em meio urbano são frequentemente designados por *City Information Models* ou *3D city models* mas a sua aplicação estende-se para lá do espaço urbano. Estes modelos estão em expansão em áreas tão diversas como o planeamento urbano e ambiental, arquitetura e construção e vários esforços têm sido feitos para unir estas duas tecnologias [64]. Para a construção do modelo de uma cidade rico em informação, seria necessário para os edifícios novos o modelo *Revit* ou documentos 2D CAD e para os mais antigos fazer uso das tecnologias de levantamento como o *laser scanning*. A maior dificuldade para atingir o City Information Model seria a modelação de toda a informação. As possibilidades seriam:

- O método tradicional de medir os objetos existentes e posteriormente modelá-los, o que requereria um trabalho demoroso;
- Integrar modelos BIM e informações 2D com GIS, retirando modelos tridimensionais, mas apenas com a informação geométrica externa (Figura 26 );
- Recolher a informação interna nos modelos BIM existentes e a informação externa recorrendo aos modelos GIS, combinando técnicas de levantamento como o *laser scanning* e a fotogrametria [69].

O terceiro método seria o mais fiável, se fosse possível integrar modelos BIM e GIS automaticamente. Os modelos tridimensionais atuais das cidades não podem ser usados para visualização e simulação porque não possuem informação paramétrica. Assim, são necessários modelos ricos em informação e mais detalhados [69].

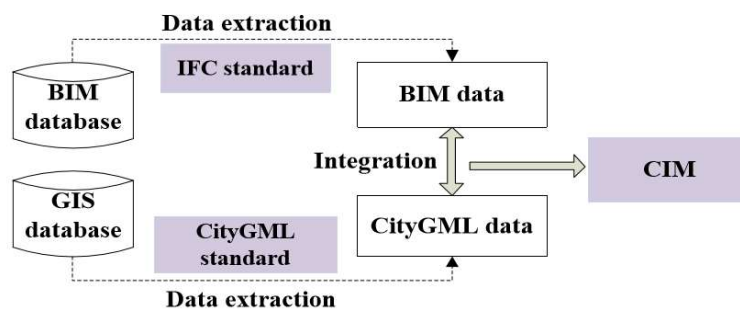


Figura 27. Recolha de dados para a construção de um *City Information Model* [70]

As vantagens da integração das ferramentas GIS nas tecnologias BIM são: a modelação do interior dos edifícios de serviço público para fins de consulta e turismo, modelação e gestão da rede de abastecimento de água, optimização da localização dos estaleiros, seleção da localização e gestão da segurança a incêndios, serviços web para visualização e análise da informação do edifício e gestão de ativos numa larga escala [50]. Permite também a gestão de informações heterogêneas de diferentes fontes para suporte essencial para a tomada de decisões em vários estágios do ciclo de vida de um projeto, designadamente planeamento, projeto, construção, operação e manutenção. A informação em qualquer escala espacial e temporal pode estar disponível nesse sistema para aplicações diferentes [70]. Os estudos podem ser utilizados para análise económica, como preços de casas, análise energética, como a exposição solar e qualidade de projeto, entre outros [70]. Os métodos de integração podem ser classificados em três grupos: na aplicação, no processo e ao nível da informação [46].

Ao nível da aplicação, os métodos de integração usam a reconfiguração ou reconstrução, ou seja, uma ferramenta GIS ou BIM existente é modificada por fragmentos ou remendos de *software* ou é reconstruída desde o início para incluir as funções do outro. Este método geralmente é dispendioso e inflexível.

Os métodos de integração por processo, utilizam a arquitetura orientada a serviços, SOA, para permitir a participação dos sistemas BIM e GIS nas tarefas que exigem as capacidades de ambos enquanto eles se mantêm simultaneamente distintos. Este método oferece mais flexibilidade do que o primeiro, mas a nível da informação subjacente ainda existem problemas que devem ser resolvidos para fornecer interoperabilidade entre esses sistemas [46].

Existem vários métodos desenvolvidos para integrar o BIM com o GIS no nível de dados: (i) métodos de ligação como o ESRI *ArcSDE* facilitam a transferência de dados entre a aplicação BIM e o software GIS por uma Interface de Programação de Aplicação, API; (ii) métodos de

conversão como FME usado pelo *software Safe*, introduzidos para converter diretamente os dados entre IFC e *CityGML* [44]; mas a perda de informações, as limitações na conversão geométrica e a incidência apenas nos principais elementos construtivos e a negligência de outros aspetos como os utilizadores ou conexões são algumas das preocupações associadas a esses métodos. Para resolver o problema da transformação da geometria, realizou-se uma série de pesquisas que apenas aborda parcialmente a integração geral. Um “meta-modelo” GIS ou BIM é estendido para incorporar os dados do outro, como por exemplo a extensão *GeoBIM* é um exemplo para o *CityGML* e o *IFC-for-GIS* estende o modelo IFC para incluir informações geoespaciais. Um exemplo de “meta-modelos” é o *Unified Building Model*, um modelo de dados intermediário para fins de evacuação de emergência. Em geral, estes modelos são especializados para aplicações e para casos de uso com requisitos específicos. Portanto, os conceitos e relacionamentos incluídos nesses modelos podem não ser adequados a outras aplicações com requisitos funcionais diferentes [46].

Relativamente ao IFC4, esta versão tem a capacidade de se relacionar com diferentes sistemas de coordenadas, mas o seu uso não está desenvolvido, implementado ou padronizado, e é orientação para os utilizadores. Assim, está a ser desenvolvido pela *buildingSMART* um IDM para a georreferenciação da maneira correta e como implementar isso no *software* [57].

O estudo mais desenvolvido para a união de BIM e GIS é o IFG, ou IFC *for* GIS, projeto norueguês, no qual o objetivo é implementar informações na estrutura do IFC, em que primeiro são identificadas todas as entidades IFC que possam suportar as aplicações GIS, e depois ligar essas entidades ao GML.

### **3. ANÁLISE E SELEÇÃO DO CASO DE ESTUDO**

#### **3.1. Introdução**

As áreas de reabilitação urbana, ARU, designam-se as áreas territorialmente delimitadas que, em virtude da insuficiência, degradação ou obsolescência dos edifícios, das infraestruturas, dos equipamentos e dos espaços urbanos e verdes de utilização coletiva, no que se refere às suas condições de uso, segurança, solidez ou estética, justifique uma intervenção integrada. Esta intervenção é realizada através de uma operação de reabilitação urbana aprovada em instrumento próprio ou em plano de pormenor. Este conceito vai para além das intervenções nos centros históricos e nas áreas mais centrais das cidades, expandindo-se a outros espaços consolidados em que se verifique a necessidade de se desenvolverem estratégias integradas de requalificação e revitalização do tecido urbano.

A reabilitação urbana assume-se hoje em dia como uma componente indispensável da política das cidades e da habitação, na medida em que nela convergem os objetivos de requalificação e revitalização das cidades, em particular das suas áreas mais degradadas, e de requalificação do parque habitacional, procurando-se um funcionamento globalmente mais harmonioso, prático e sustentável das cidades e a garantia de condições condignas.

As cidades assistem à degradação progressiva das suas estruturas urbanas, dos seus edifícios e dos seus espaços exteriores. Esta degradação decorre do próprio envelhecimento da estrutura e da ação de agentes agressores nas suas fachadas, da sobrecarga de usos, ou ainda do desajustamento da sua organização a novos modos de vida, ou inadequação a novos usos que lhes são atribuídos. Para além da componente física do espaço e o seu envelhecimento, as cidades têm apresentado melhorias e retrocessos económicos que as induzem a investir e a aderirem cada vez mais a processos de reabilitação:

- Sinais de revitalização económica, resultante da expansão do turismo e necessidade de abrigar estas atividades turísticas;

- Espiral de declínio em retrocesso, ou seja, diminuição no número de habitantes, visto que existe mais oferta habitacional para arrendamento e venda através da existência de novas atividades, tanto económicas, como sociais, de lazer, entre outras;
- Por outro lado, a população encontra-se frágil, com carências económicas e idosa, o que apresenta uma fonte de problemas para congelamento de rendas e falta de atuação em edifícios com tais proprietários;
- População jovem e estudantil, assim como novas famílias que pretendem residir na cidade, proporcionando investimento na habitação.

Por isso, torna-se imprescindível o desenvolvimento de novos e flexíveis processos de projeto de reabilitação urbana, racionalizando de forma eficiente e sistemática os recursos e o edificado existente e evitando intervenções dispersas que possam revelar-se desnecessárias ou contraditórias, reduzindo assim os custos associados a estas alterações.

O estudo de zonas em que realmente é necessária a reabilitação a um nível urbano e que apresentem potencial de crescimento económico e de atribuição de valor, deve ser implementado nos municípios, e o estudo a pormenor de cada zona, ou seja com o propósito de prever as necessidades habitacionais ou de outros usos e as ajustar às intervenções de reabilitação. Por exemplo, estudar a reconversão de um edifício degradado num edifício para escritórios a um nível de análise de custos de intervenção e futura venda do mesmo.

A verdadeira reabilitação não poderá realizar-se sem a participação ativa e financeira dos particulares, numa perspetiva de sustentabilidade dos processos. Deste modo, para a metodologia tida em conta nesta dissertação ser aplicada foram tidos em conta os seguintes objetivos e os respetivos motivos:

- Uma área de interesse económico: para o estudo ter uma aplicabilidade num caso real, ou seja, analisar uma área que seja economicamente mais ativa e viável no futuro;
- Análise de um conjunto de edifícios: de modo a abranger características diferentes, ou seja, que variem nos usos atuais e futuros, a possibilidade de aumentar cêrceas e com diferentes classificações de intervenções de reabilitação no edificado para um estudo mais completo;
- Área de Reabilitação Urbana (ARU): no sentido de propor uma metodologia mais eficaz para atrair futuros investidores para melhorar as condições de oferta das cidades.

Este capítulo, portanto, será direcionado para a apresentação do projeto a analisar, a ARU de Campanhã, tendo em conta as informações disponíveis nas bases de dados municipais que servirão como fonte para a preparação do modelo BIM, tal como demonstra o seguinte esquema:



Figura 28. Metodologia para a seleção do caso de estudo [15]

### 3.2. Bases de dados

Em projetos de reabilitação é crucial a análise da informação ao dispor, desde desenhos técnicos existentes, mapas, plantas de implantação, *street views*, visita ao local, assim como documentos escritos, como por exemplo memórias descritivas do projeto inicial e planos diretores municipais, entre outros.

Na generalidade, os desenhos técnicos existentes não fornecem informação precisa, sendo muitas vezes apresentados em concursos públicos documentos de desenhos manuais antigos e desatualizados, que por sua vez não especificam medições ou informações relevantes como os materiais existentes, patologias e anomalias, e outros dados necessários para a avaliação do projeto de uma empreitada de reabilitação. Posto isto, é necessária uma visita ao local da do edifício a intervir, a fim de ter uma avaliação coerente do seu estado de degradação e suas dimensões. Em último caso recorre-se ao *Google Maps* ou *Google Earth Pro*, que por sua vez também são ferramentas úteis no que concerne à localização do edifício e da mesma forma fornecem informações moderadamente detalhadas, ou seja, dão a estimativa das medições, os materiais utilizados de modo impreciso e as anomalias mais notórias, tornando-se ferramentas poderosas para visualização do existente, quando atualizado na área que se pretende estudar, pois permitem ter uma perceção do espaço urbano circundante.

No entanto, para uma análise na perspetiva de onde atuar, ou seja, o estudo incidente numa área urbana de interesse económico e de modo a validar a metodologia descrita da dissertação, a pesquisa relacionou-se maioritariamente nas bases de dados disponíveis das câmaras municipais de Portugal. A delimitação das áreas de reabilitação urbana é da competência da assembleia municipal, sob proposta da câmara municipal. A aprovação de uma ARU atribuí

à área um conjunto significativo de efeitos, entre estes, destaca-se, a obrigação da definição dos benefícios fiscais associados aos impostos municipais sobre o património. Decorre também daquele ato a atribuição aos proprietários do acesso aos apoios e incentivos fiscais e financeiros à reabilitação urbana.

Os *websites* dos municípios possuem informação relativa à reabilitação nas áreas urbanas, principalmente relativas às Áreas de Reabilitação Urbana: as suas delimitações através de plantas ilustrativas, documentos escritos equivalentes a memórias descritivas da área de reabilitação, os programas de incentivo às operações de reabilitação urbana, entre outros (Figura 29).



Figura 29. Recorte do *website* do Balcão Virtual da CMP (à esquerda) e da CM de Lisboa (à direita)

O Balcão Virtual fornece informações detalhadas sobre a função atual do edifício e com base no Plano Diretor Municipal é possível saber a possibilidade de vocacionar o edifício para um diferente uso, objeto essencial da reabilitação.



O Plano Diretor Municipal também constitui uma fonte fulcral de informação sobre a gestão do território municipal. O PDM define o quadro estratégico de desenvolvimento territorial do município, sendo o instrumento de referência para a elaboração dos demais planos municipais. O Regulamento do PDM estabelece as regras e parâmetros aplicáveis à ocupação, uso e transformação do solo, vinculando as entidades públicas e particulares. A planta de ordenamento do PDM representa o modelo de organização espacial e a planta de condicionantes identifica as servidões administrativas e as restrições de utilidade pública em vigor que possam constituir limitações ou impedimentos a qualquer forma específica de aproveitamento do solo.

O Plano Diretor Municipal do Porto, designado por PDMP, está disponível no Diário da República, 2.<sup>a</sup> série — N.º 207 — 25 de outubro de 2012, elaborado ao abrigo do Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RJIGT) em vigor. O PMDP estabelece as regras e orientações a que devem obedecer a ocupação, o uso e a transformação do solo para o território municipal do Porto. Deste documento foram retiradas as informações para serem aplicadas na modelação dos objetos relativos aos edifícios do caso de estudo, principalmente para cêrceas e a possibilidade de aumentar um piso ou um piso recuado.

A análise do conjunto de edifícios baseou-se no Balcão Virtual da Câmara Municipal do Porto, onde maioritariamente, fornece informações gerais das ARU do Município do Porto, como a sua localização, memórias descritivas gerais sobre os edifícios, questões e requisitos legais, entre outros. No entanto, os dados da ARU da Campanhã são descritos sucintamente, com informações minuciosas, descritas nos seguintes subcapítulos.

### **3.3. Área de reabilitação urbana da Campanhã**

As Áreas de Reabilitação Urbana, ARU, do Porto, estão definidas na Câmara Municipal do Porto, disponíveis no *website* do Balcão Virtual. Com base nesta fonte de informação, foi feita a análise do conjunto de edifícios no qual incide esta dissertação, a ARU da Campanhã.

A ARU da Campanhã é delimitada territorialmente a norte pela praça das Flores e pela Avenida de 25 de Abril; a sul pela Avenida de Paiva Couceiro; a nascente pela VCI e pelo tramo final da Estrada da Circunvalação; a poente pelo tardoz da frente urbana da Rua do Bonfim, pela Travessa e pela Rua das Eirinhas, pelas Ruas do Monte do Bonfim, de António Carneiro, do Barão de Nova Sintra, e pelo limite da linha férrea até à Ponte de São João,

conforme a planta aprovada por deliberação da Assembleia Municipal de 06 de Fevereiro de 2017, sob proposta da Camara Municipal tomada em 31 de janeiro de 2017.

O projeto da ORU Campanhã-Estação constitui uma intervenção integrada de reabilitação urbana dirigida ao edificado, infraestruturas, equipamentos e espaços verdes e urbanos de utilização coletiva, visando a requalificação e revitalização do tecido urbano, associado a um programa de investimento público.

A ARU da Campanhã é, deste modo, dividida em quatro unidades, sendo elas: Poente, Nascente, Norte e Sul. A zona de Mira, alvo de estudo, está situada na unidade Poente (Figura 30) e é caracterizada por um conjunto de dois quarteirões delimitados pelas ruas Padre António Vieira, do Heroísmo/Freixo, da Estação e Pinto Bessa, resultando numa área de, aproximadamente, quatro hectares. A zona de Mira é caracterizada pela densidade da malha urbana e pelos vários edifícios de habitação datados de fins do séc. XIX. O núcleo de Mira já se encontrava referenciado no Esquema Cartográfico do Porto Oriental em 1750. É possível encontrar antigos armazéns de apoio às atividades relacionadas com os transportes de mercadorias que se interligavam com a estação de Campanhã, como é exemplo um armazém construído no início do séc. XX, e recentemente reabilitado para acolher atividades artísticas e culturais. Foram identificadas nesta subunidade a existência de 7 ilhas habitadas e com um total de 79 fogos.

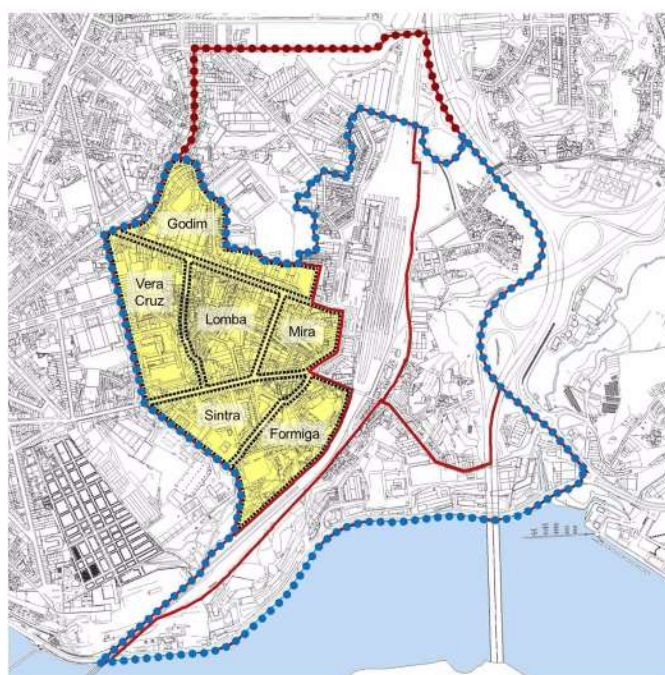


Figura 30. Delimitação da área de intervenção – Área de Reabilitação Urbana Campanhã-Estação

O conjunto de edifícios que representam o caso de estudo da presente dissertação localizam-se na Zona de Mira, denominada com sendo a Zona 1 da ARU Campanhã. A área de implantação deste conjunto é, aproximadamente, 2 900 metros quadrados.

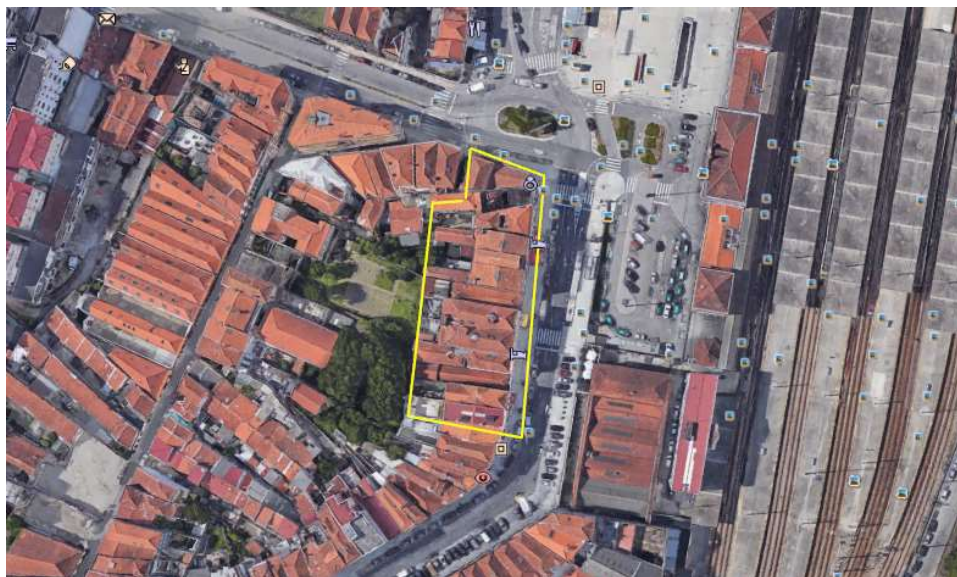


Figura 31. Localização do caso de estudo, via *Google Earth Pro*

O estudo incide na frente urbana da Rua da Estação, edifícios com potencial económico, uma vez que se encontram localizados na rua da Estação de Comboios da Campanhã. A rua diariamente é bastante movimentada por pessoas que usam os serviços da estação, que por sua vez são potenciais investidores naquela zona. Para além disso, uma vez que a Estação também é uma referência para turistas, as proximidades desta necessitam de facto de empreitadas de reabilitação ou construção, também no sentido de atrair turistas para aquela área.

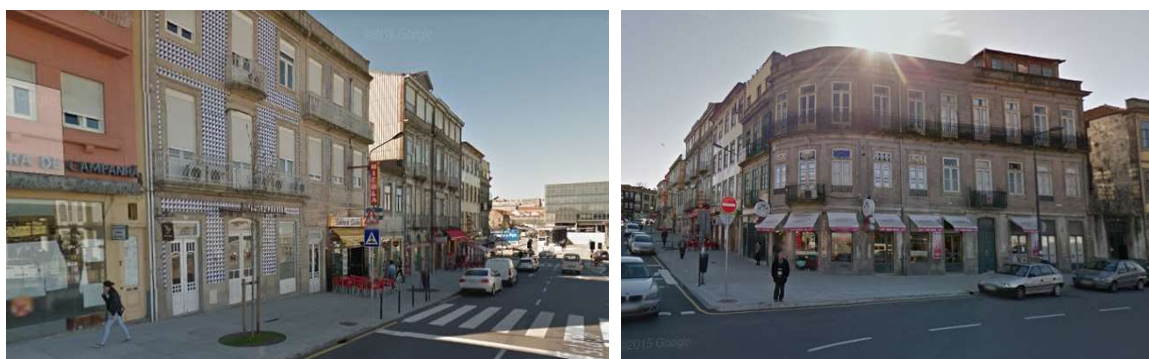


Figura 32. Conjunto de edifícios da Zona 1 Mira, da ARU Campanhã



Figura 33. Vista do conjunto de edifícios da Zona 1 Mira, da ARU Campanhã

O “polígono” alvo deste estudo é constituído maioritariamente por edifícios com quatro pisos, de usos mistos, ou seja, o rés-do-chão é utilizado para fins de comércio e os restantes para habitação, na generalidade.

### 3.4. Informação não geométrica

Todos os edifícios localizados na ARU Campanhã estão descritos e disponíveis nos documentos do Balcão Virtual como por exemplo no Anexo I ou Figura 58, Z1\_Mira\_01, um edifício da Zona 1 de Mira por ser o edifício identificado como número um no documento disponibilizado. O documento especifica o seguinte conjunto de informações:

- Localização: rua e número;
- Cadastro: edificado ou livre, áreas de implantação e total, entidade proprietária e classificação patrimonial;
- Uso, tipo, número de pisos e estado de ocupação do edifício: detalhados para cada piso do edifício em questão;
- Estado de conservação classificado por: ruína, mau, razoável a necessitar obras profundas, razoável a necessitar obras ligeiras, bom, em obras;
- Relevância urbanística: interesse de preservação para o mesmo ou diferente uso e a sua finalidade;
- Atributos: o tipo de funções urbanas associadas ao edifício.



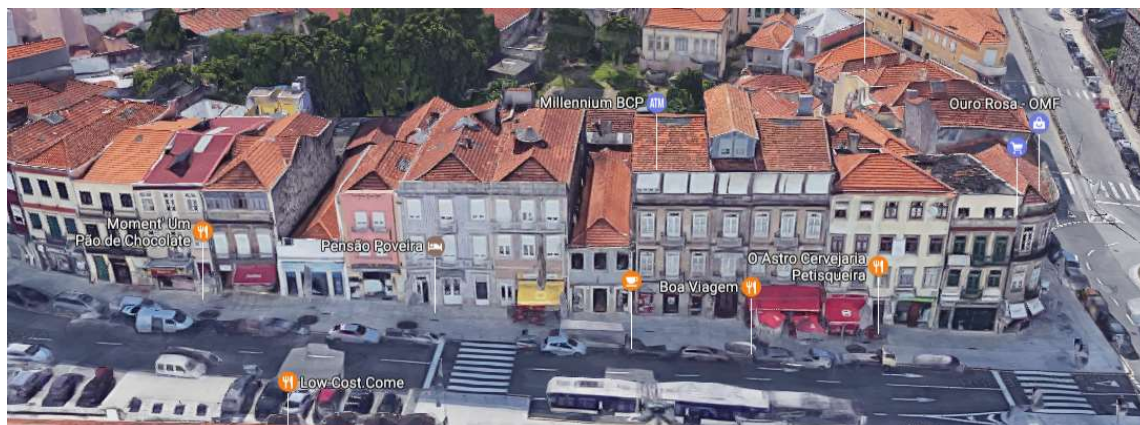


Figura 34. Edifícios da frente urbana da Rua de Estação, via *Google Maps*.

No caso de reabilitação de um conjunto de edifícios e não um edifício por si só, em ambiente urbano, estas informações são fulcrais no sentido de avaliar de um modo global e simultaneamente pontual a área a reabilitar. O estado de degradação também é importante para analisar que tipo de intervenção de reabilitação será elaborada assim como a utilização futura que será atribuída ao ativo.

No âmbito desta dissertação, a informação não geométrica, associada ao conjunto dos seus objetos representativos, necessária para a elaboração de um modelo BIM encontra-se, de facto, descrita nestes documentos. Assim, são destacadas as informações relativas à localização do edifício, os usos relativos a cada piso e as utilizações futuros e respetiva área, assim como o estado geral do edifício.

Denota-se assim, a importância da elaboração de documentos de informação não geométrica do edificado disponibilizados pelos municípios para os mais variados serviços, destacando-se assim a análise de potenciais empreitadas de reabilitação. No entanto, a informação geométrica é obtida por outros meios de levantamento do existente.

## 4. RECURSO A FERRAMENTAS BIM

### 4.1. Introdução

Uma vez que a informação não geométrica se encontra disponível nas bases de dados do Município do Porto, nomeadamente o Balcão Virtual, não foi necessário recorrer a meios tradicionais de pesquisa, como entrevistas, várias visitas ao local, entre outros. No entanto, para a recolha da geometria de cada edifício recorreu-se a métodos de levantamento do existente, uma vez que a informação contida no *Google Maps* e desenhos técnicos disponíveis no Balcão Virtual não é suficiente para a preparação de um modelo BIM.

Posto isto em consideração, procedeu-se ao recurso a ferramentas BIM: em primeiro lugar foi realizado o levantamento do edificado, obteve-se uma fonte de informação geométrica e de seguida foi elaborado o modelo BIM do existente com a informação não geométrica, descrita anteriormente, associada.

Para o levantamento deste conjunto de edifícios foi escolhida a técnica da fotogrametria, uma vez que para este tipo de análise a precisão não necessita de ser tão alta como a do *laser scanning*, e revela-se mais económica para além de ser menos morosa. Adicionalmente, a fotogrametria aérea com o auxílio da fotografia terrestre cobre uma área mais vasta, o que é pretendido para o levantamento e análise de quarteirões, ao contrário do *laser scanning* que apresentaria muitos problemas como o difícil acesso a algumas zonas como coberturas e consequentemente o aparecimento de mais sombras na nuvem de pontos.

Para o presente capítulo foi tida em consideração a seguinte metodologia que necessita de interoperabilidade entre as diferentes aplicações, nomeadamente do *software* de formação de nuvem de pontos e o *Revit* 2017:

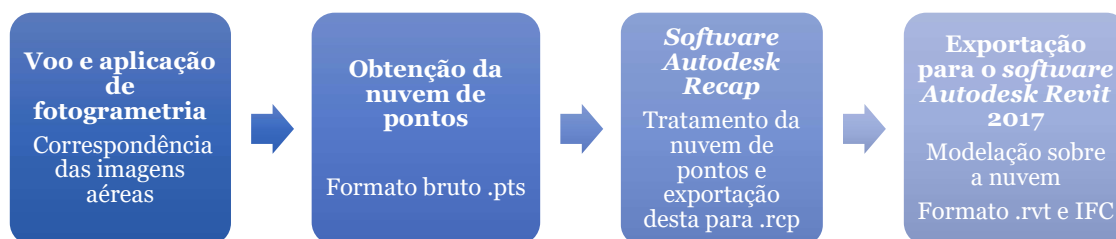


Figura 35. *Workflow* da interoperabilidade entre a fotogrametria e a aplicação de modelação BIM

## 4.2. Levantamento do existente

No presente capítulo procedeu-se à aplicação dos métodos de levantamento estudados nesta dissertação, nomeadamente a fotogrametria, com o objetivo de preparar o modelo BIM de um conjunto de ativos imobiliários, referente ao caso prático de estudo. A aplicação direta do método de levantamento será entendida de que modo é vantajosa para o fim pretendido e quais as debilidades presentes. Esta descrição conduz a uma reflexão de requisitos e potencialidades considerados desejáveis num modelo de informação de edifícios existentes para a gestão de um projeto de reabilitação em ambiente urbano, em que a informação ao nível de cada piso é a mais relevante.

Neste capítulo será abordada a aplicação da fotogrametria e posterior formação da nuvem de pontos como fonte de informação geométrica do modelo BIM. Para tal foram tidas em consideração várias etapas essenciais para o desenvolvimento do modelo de objetos, atribuição de informação não geométrica e extração de áreas.

Numa primeira fase, ainda na análise do conjunto de imóveis a direccionar este estudo, foram definidos alguns parâmetros para se poder aplicar a fotogrametria:

- Espaço em torno do conjunto de edifícios a possibilidade de captura de fotografia aérea oblíqua;
- Distância considerável à volta do edifício para poder ser feita a fotografia terrestre.

Deste modo, ainda na fase anterior ao planeamento do voo foi seleccionada inicialmente a área total da Zona de Mira na ARU Campanhã que cumpria os requisitos anteriores, como representado o seu plano de voo na seguinte figura:



Figura 36. Plano inicial do voo, cortesia de Tiago Delgado

No entanto, devido à dimensão do quarteirão considerado inicialmente, não se procedeu ao seu estudo, devido a inconvenientes relacionados com o tempo prolongado de formação da nuvem de pontos e a falta de equipamento informático com capacidade para manipular informações de grande tamanho posteriormente nos *software* de modificação da nuvem e modelação do conjunto de edifícios. Assim, foi seleccionada apenas a frente urbana da rua da estação, tal como referido no Capítulo 3.

O Arquiteto Tiago Delgado encarregou-se do levantamento da área, e deste modo requereu uma autorização de voo como representado no Anexo II, uma vez que para a utilização de um aparelho de voo em território público é necessária uma autorização concedida pela Autoridade Aeronáutica Nacional.

O voo foi realizado na semana de 16 a 20 de junho de 2017, com o recurso a um *drone* que capta fotografia vertical e oblíqua. Tendo em consideração o espaço a levantar e as suas condicionantes limítrofes, não foi necessário recorrer a fotografia terrestre como inicialmente esboçado. O levantamento, então, foi realizado apenas com base na fotografia oblíqua.



No dia 29 de junho com a presença do topógrafo Tiago Queiroz, da empresa RigorDouro, foi realizado o levantamento topográfico dos pontos de ligação. Os pontos de ligação, tal como referido no Capítulo 2.2 e depois no processo de formação da nuvem de pontos, as fotografias sofrem a orientação com o *input* das coordenadas de alguns pontos. Estes pontos de ligação, definidos pelo arquiteto Tiago Delgado, foram localizados em áreas bem definidas e visíveis, como por exemplo, no canto esquerdo de uma passadeira, o canto de um passeio, entre outros. A localização clara dos pontos de ligação serve para estes serem anteriormente localizados corretamente no local de estudo e fazer o levantamento no ponto em questão, com o mínimo erro associado, para posteriormente no *software* de reconstrução fotogramétrica, serem facilmente identificados nas fotografias aéreas oblíquas.

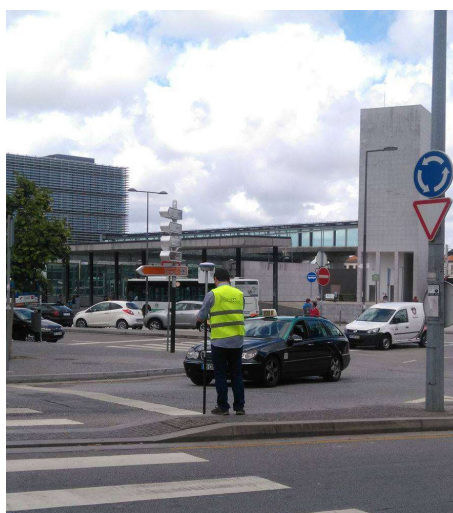


Figura 37. Levantamento de pontos fixos perto da estação da Campanhã

Para retirar a coordenada  $z$ , isto é, levantar um ponto que prove a relação de distância vertical no local e na fotografia, foram levantados dois pontos no muro representado na seguinte figura: a sua base e o seu limite vertical num canto, mais uma vez um ponto facilmente reconhecido numa fotografia e no local de estudo. Tal procedimento pode ser verificado na Figura 38. Levantamento de ponto para relacionar as coordenadas verticais



Figura 38. Levantamento de ponto para relacionar as coordenadas verticais

O equipamento para todo este processo é o Controlador TSC2 da *Trimble*, apresentado na Figura 39, um recetor de dupla frequência GNSS (L1/L2), capaz de oferecer posição em qualquer ponto da superfície terrestre, o que constitui todas as funções necessárias aos levantamentos topográficos e geodésicos, podendo ser utilizados para os mais diversos fins, tais como: cadastro, densificação de redes, pontos de apoio aerofotogramétrico, medição de imóveis, locações e armazenamento de dados para GIS.

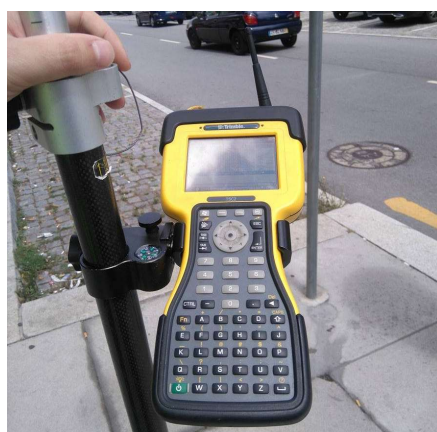


Figura 39. *Trimble* TSC2, aparelho utilizado para o levantamento de pontos

Para a reconstrução fotogramétrica atualmente existem no mercado várias aplicações, como já referido. Para a formação da nuvem de pontos foi utilizado o *software Tekla Inpho*. Esta aplicação foi idealizada para transformar imagens aéreas em nuvens de ponto consistentes e precisas, mosaicos de fotografias e outros produtos resultantes de digitalização 3D,

fotogrametria e técnicas de *remote sensing*. Este programa é compatível com outros sistemas e marcas relacionados com a fotogrametria e produção de nuvem de pontos, como a *Trimble*, *Leica*, *Vexcel*, *Phaseone* e outros.

O Arquiteto Tiago Delgado realizou todo este processo, desde o voo com o *drone* para a captação de fotografias aéreas até à formação da nuvem de pontos e forneceu os dados à autora, assim como esteve disponível para responder a dúvidas.

A nuvem de pontos, nesta dissertação, representa a fonte de informação geométrica usada para a preparação do modelo BIM. Esta foi fornecida, tal como mencionado anteriormente, pelo Arquiteto Tiago Delgado, no seu formato *raw*, ou seja, no formato bruto, original extraído do *Trimble Inpho*: o formato *.pts*, para nuvens de pontos. A nuvem neste formato apresenta um tamanho de 701 MB.

Tal como indica a Figura presente na Introdução deste capítulo, o passo seguinte para a interação de nuvem de pontos – aplicação BIM foi a passagem para o *software Autodesk Recap*. Esta aplicação apresenta as seguintes opções para a formação de um “Novo projeto”: a importação de uma nuvem de pontos, a transferência a partir de um dispositivo móvel, opção apenas disponível para a versão *Pro*, e a transformação de uma fotografia para 3D (Figura 40.).

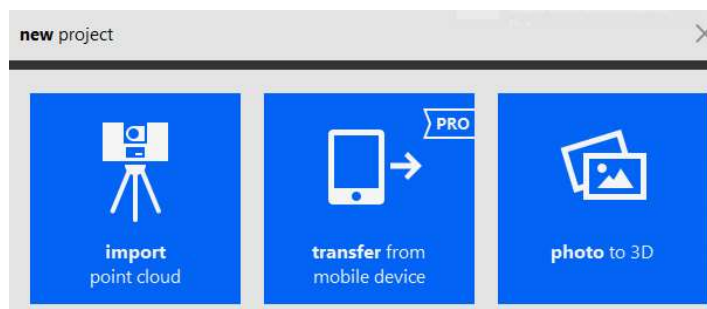


Figura 40. Opções de “Novo projeto” no programa *Autodesk Recap*

Foi selecionada a opção de importar a nuvem de pontos, e os formatos aptos para a leitura desta aplicação são os seguintes, sendo que o *.pts* é reconhecido como um produto *Leica PTS files*. A partir desta imagem pode tirar-se a conclusão que as nuvens de pontos do *laser scanning* também podem ser lidas: *Lidar LAS files*.

All Supported Files (\*.rcs;\*.fls;\*.fws;\*.lsproj;\*.pts;\*.ptg;\*.ptx;\*.zfs;\*.zfpj;\*.las;\*.laz;\*.xyz;\*.txt;\*.cl3;\*.clr;\*.e57;\*.rdxb;\*.rsp;\*.rcp;\*.dp;\*.prj;\*.xyb)  
Autodesk ReCap Scans (\*.rcs)  
Faro FLS Files (\*.fls)  
Faro FWS Files (\*.fws)  
Faro Project Files (\*.lsproj)  
Leica PTG Files (\*.ptg)  
**Leica PTS Files (\*.pts)**  
Leica PTX Files (\*.ptx)  
Lidar LAS Files (\*.las)  
Lidar LASZip Files (\*.laz)  
Zoller&Frohlich ZFS Files (\*.zfs)  
Zoller&Frohlich ZFPRJ Files (\*.zfpj)  
Topcon CL3 Files (\*.cl3)  
Topcon CLR Files (\*.clr)  
E57 Files (\*.e57)  
Riegl Files (\*.rdxb)  
Riegl Project Files (\*.rsp)  
Text Files (\*.txt)  
XYZ Files (\*.xyz)  
Autodesk ReCap Projects (\*.rcp)  
DotProduct Scan File (\*.dp)  
Leica Raw Project File (\*.prj)  
Faro XYB Files (\*.xyb)

Figura 41. Formatos que podem ser lidos no *Recap*

Após a importação para o *Recap*, este ficheiro foi guardado como *.rcp*, apresentando um tamanho de 688 KB no final, valor muito menor que o ficheiro original. O tratamento da nuvem de pontos foi elaborado na aplicação, ou seja, foi feita a sua limpeza, para a área que abrange o caso de estudo.



Figura 42. Visualização da nuvem de pontos original no *Recap*





Figura 43. Nuvem de pontos limpa

A aplicação *Autodesk Recap* possui imensas funcionalidades, desde a atribuição de filtros para visualização (Figura 44), o corte de pontos num plano, o que facilita a limpeza de pontos não necessários, entre outras. A versão *Pro*, paga, apresenta funcionalidades mais complexas e específicas as quais não foram possíveis de explorar.

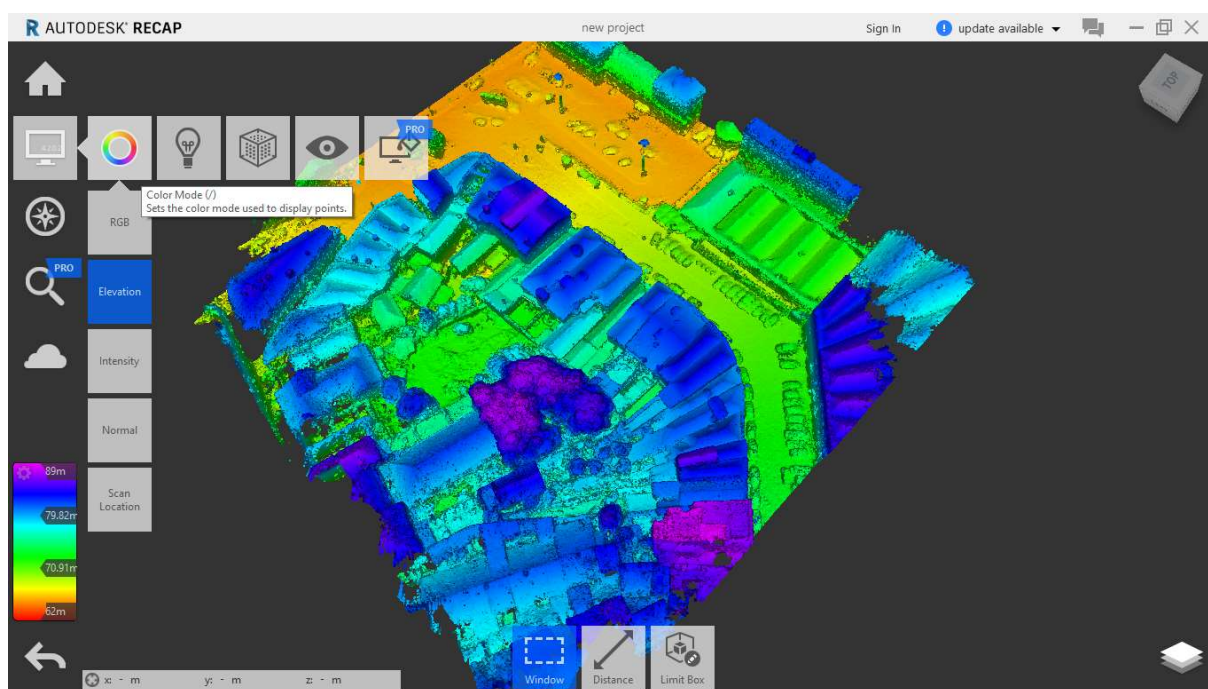


Figura 44. Visualização da nuvem de pontos no filtro *elevation*

Relativamente à orientação da NP na aplicação *Recap*, esta não apresenta problemas uma vez estar orientada a norte de acordo com a realidade, facto que também se verificou após na passagem para o *Revit*.

Realizado registo da nuvem, esta é guardada novamente como *.rcp*, com o tamanho final de 676 KB. O ficheiro *.rcp* representa um projeto de nuvem de pontos, não estruturada, uma vez que foi realizada com apenas um levantamento. Pode também representar várias nuvens sobrepostas de diferentes levantamentos, o que seria o caso do ficheiro de nuvem estruturada resultante de um só levantamento (mais aplicado a *laser scan*) *.rcs*. O ficheiro *.rcp* pode agrupar então vários scans com o formato *.rcs*.

### 4.3. Modelação do existente

O passo ulterior à interação fotogrametria – BIM é a importação da nuvem de pontos na aplicação *Autodesk Revit* através da função *link*. O *Revit* aceita ficheiros com o formato bruto da nuvem de pontos, ou seja .pts (Figura 45). No entanto, a tarefa é morosa, devido ao tamanho do ficheiro enunciado anteriormente e por ser necessário que o *Revit* transforme este formato num .rcp, demonstrado na Figura 46, o que não foi possível completar a tarefa devido a uma falha não especificada.

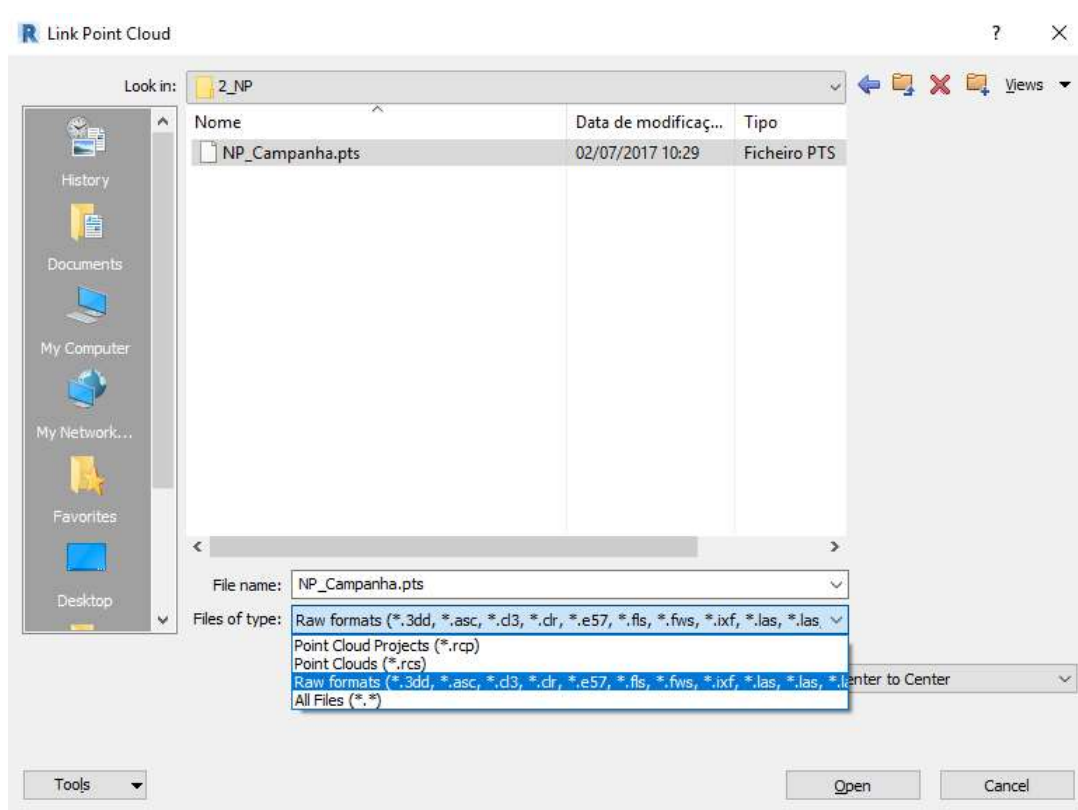


Figura 45. Formatos de nuvens de pontos disponíveis para *link* no *Revit*

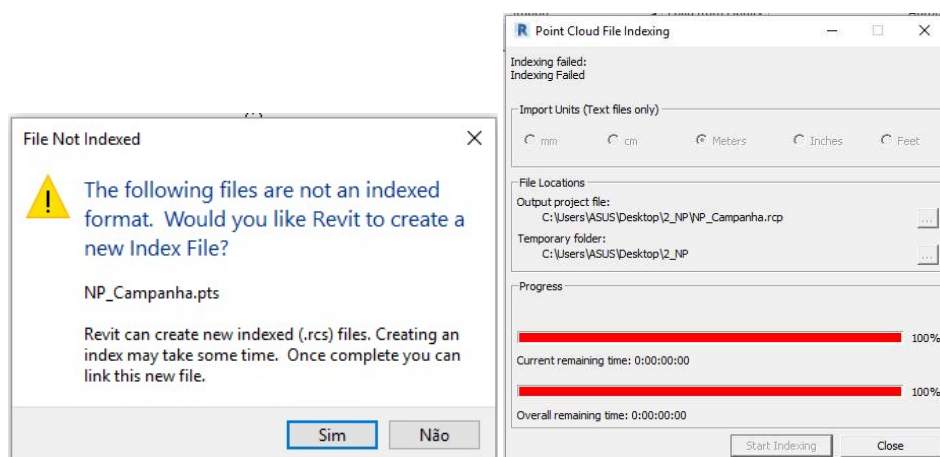


Figura 46. Opção *index file* para a importação da NP no seu formato bruto

Deste modo, foi importada a nuvem de pontos no formato *.rcp*, processo mais rápido e simples. Foi escolhida a opção *origin to origin* uma vez que é idêntica à *by shared coordinates*, pois a nuvem já se encontra com o norte definido de acordo com a realidade, devido à correspondência de imagens com os pontos de ligação, que será também o norte do projeto.



Figura 47. Visualização da nuvem de pontos no *Revit*

Antes de se proceder à modelação dos objetos representativos dos edifícios é necessário estudar as fontes de informação que até ao momento foram reunidas, nomeadamente a nuvem de pontos e a caracterização da zona da Campanhã, como exemplificado no Anexo III, tabela que contém a informação organizada de modo a ser de fácil acesso. A caracterização dos edifícios fornece a informação relativa ao número de pisos, o que pode ser verificado na nuvem de pontos, e informação muito relevante como o uso atual do piso em questão.

Deste modo, como a análise a realizar é baseada nas informações de cada piso dos edifícios, foi selecionada uma modelação à base de massas e não objetos, uma vez que a escala de

modelação é maior, ou seja, trata-se de um conjunto de edifícios nos quais não existem informações sobre elementos construtivos, o interior dos edifícios, os materiais utilizados nas técnicas construtivas, entre outros aspetos de maior pormenor. Além disso, estas informações não são relevantes no sentido em que, para uma análise global da cidade, não são necessárias essas informações. O detalhe seria necessário para posteriormente elaboração de mapas de quantidades para a realização de uma empreitada de reabilitação, numa fase posterior ao investimento numa ARU.

Postas estas considerações, é feita a modelação de cada piso com base na visualização da nuvem de pontos, ou seja, “em cima” da nuvem. Foi considerado um pé direito de três metros. Para posteriormente facilitar a correspondência de pisos ao respetivo objeto representativo, foram atribuídas nomenclaturas por número de edifício e piso, por exemplo Z1\_E60\_P1 e Z1\_E60\_P0, relativos à zona 1 de Mira, ao edifício 60 identificado nos documentos da CMP e pisos do primeiro andar e rés do chão, respetivamente. A atribuição dos números aos edifícios foi realizada, com base nos documentos da câmara e visualização na NP. É importante que, o modelo e todos os dados sejam facilmente alterados, portanto optou-se por este método.

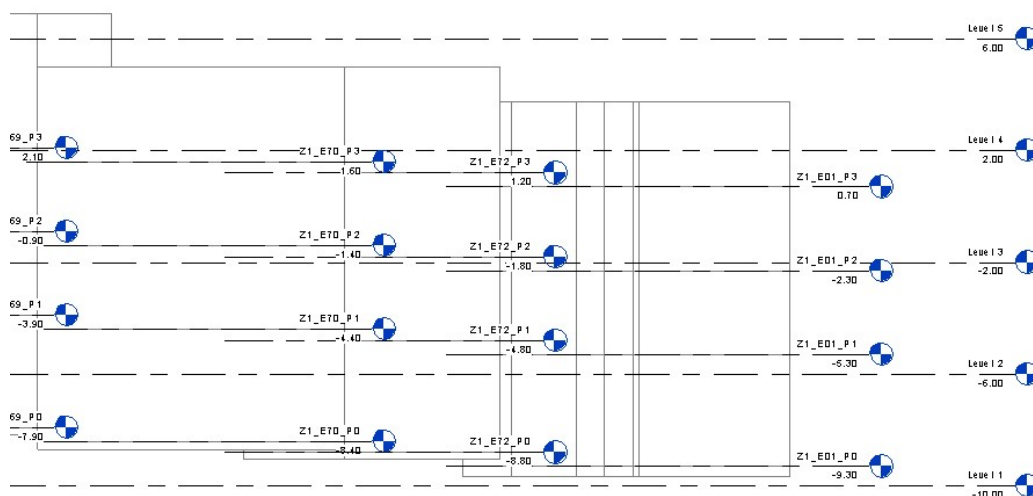


Figura 48. Atribuição de níveis por bloco, originalmente modelados “em cima” da NP

A modelação de massas é baseada na formação de um sólido, com a geometria do edifício, a qual a nuvem de pontos fornece. Foi realizada a modelação de massas para edifícios, com o nome de, por exemplo, Z1\_E72, e os considerados “anexos” como logradouros, andares recuados já existentes foi dada a nomenclatura de Z1\_E72\_A, Z1\_E72\_B e assim sucessivamente. Após todos os objetos de massas estarem realizados, são selecionados os pisos por cada massa de forma mais simplificada devido à nomenclatura adotada. Esta é uma



prova que para além das vantagens do BIM, é necessário manter um sistema simples de nomenclaturas e organização de documentos, que apesar da aparente insignificância do mesmo, se revelam complicados de resolver no momento em que é necessário aceder à informação.

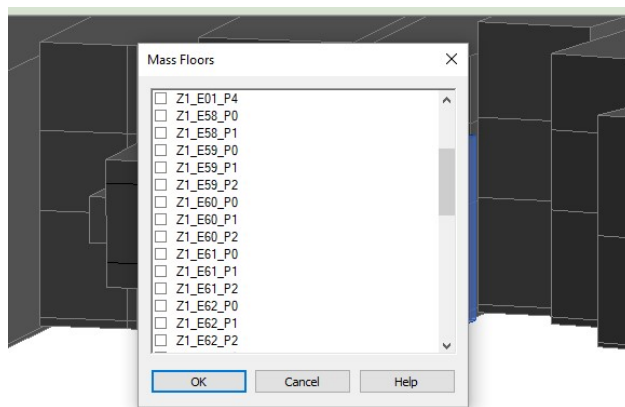


Figura 49. Atribuição de pisos aos blocos

Na Figura 50 é possível notar os objetos correspondentes às massas e os pisos de cada edifício, em comparação com a nuvem de pontos. Na Figura 51. Planta do modelo BIM do conjunto de edifícios da Campanhã pode verificar-se o a planta do modelo, devidamente orientada ao norte do modelo correspondente à realidade.

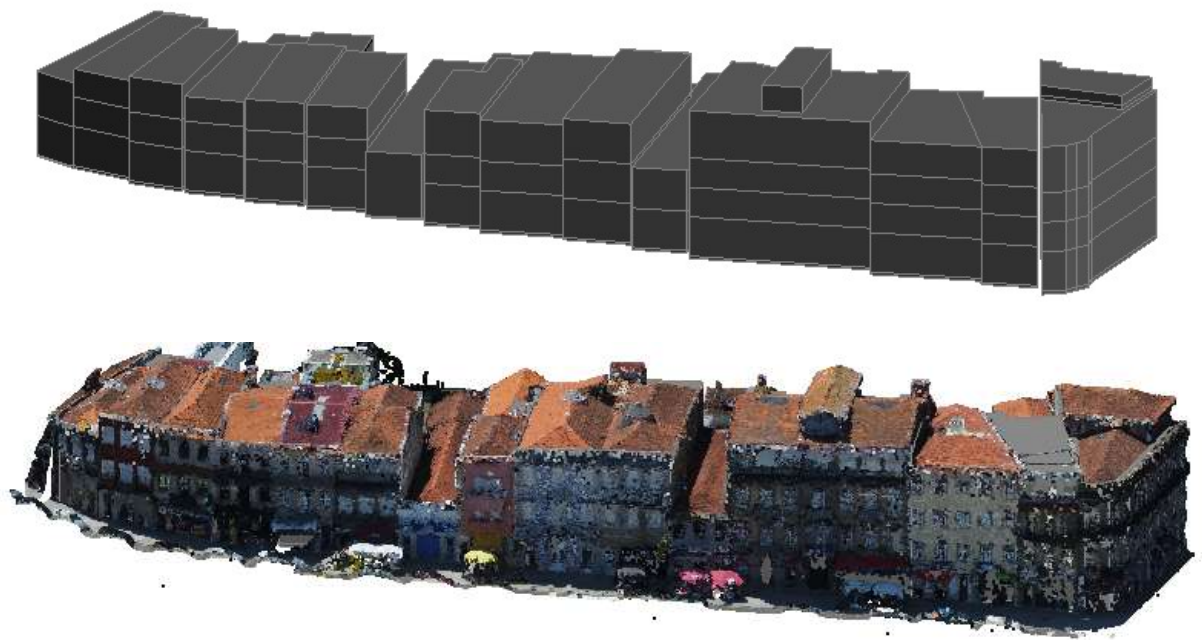


Figura 50. Nuvem de pontos e modelo de objetos BIM correspondente

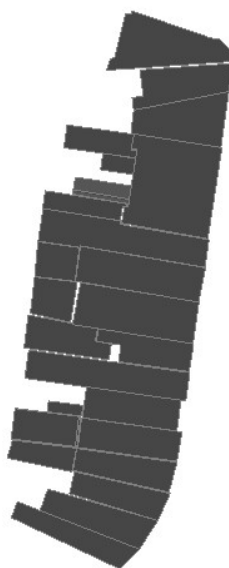


Figura 51. Planta do modelo BIM do conjunto de edifícios da Campanhã

A cada objeto são atribuídos os pisos e a estes é introduzida a informação relevante não geométrica. No *Revit* é possível extrair tabelas quantitativas, normalmente usadas para extração de quantidades de materiais ou elementos construtivos. Neste caso, foi visada a extração de informações geométricas relativas aos pisos, e portanto, as informações não geométricas foram atribuídas no sentido de aproximar o modelo a um modelo CIM.

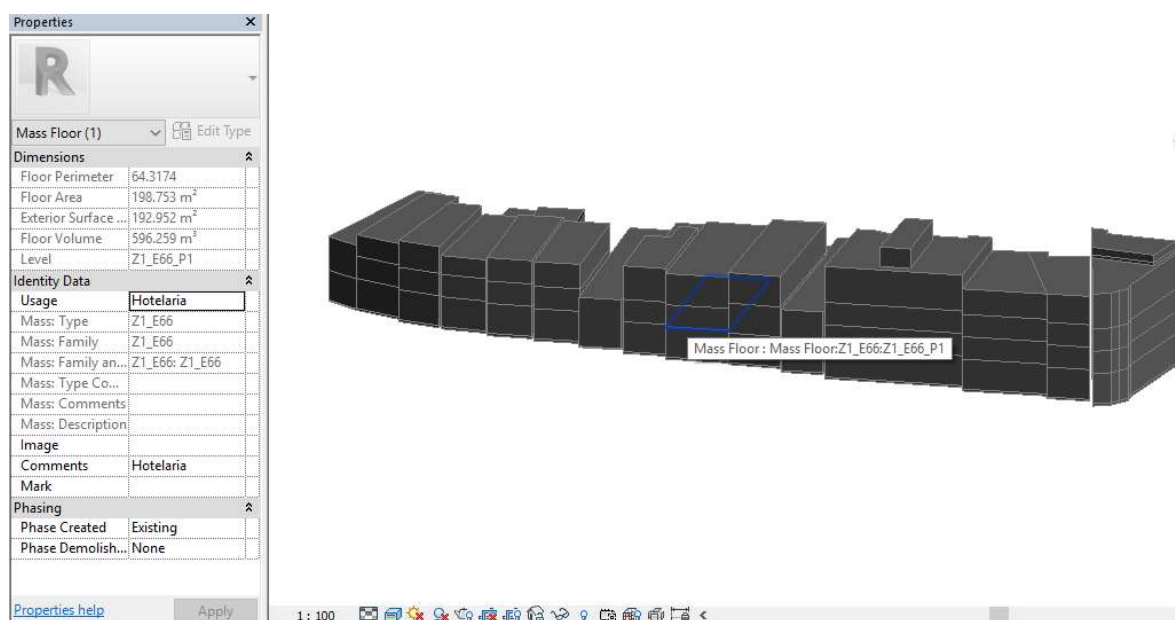


Figura 52. Informações relativas ao piso Z1\_E66\_P1

Posto isto, todos os pisos foram considerados como fase existente, e as informações foram atribuídas a campos de preenchimento manual. Relativamente ao tipo de reabilitação que cada edifício necessita foi dada a seguinte numeração de acordo com a classificação do LNEC e o documento da caracterização:

- 1 - Ligeira: razoável a necessitar obras ligeiras;
- 2 - Média: razoável a necessitar obras ligeiras - elementos deteriorados;
- 3 - Profunda: razoável a necessitar de obras profundas - Elementos estruturais muito danificados;
- 4 – Excecional.

<Schedule 1_Existente>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Mass: Family	Level	Floor Area	Usage	Future Usage	Phase Created	Phase Demolished	Type of Rehabilitation
Z1_E72	Z1_E72_P1	128 m²	Habitação	Escritórios	Existing	None	3
Z1_E01	Z1_E01_P0	173 m²	Serviços	Serviços	Existing	None	1
Z1_E01	Z1_E01_P1	173 m²	Serviços	Serviços	Existing	None	1
Z1_E01	Z1_E01_P2	173 m²	Serviços	Serviços	Existing	None	1
Z1_E01	Z1_E01_P3	173 m²	S/Info	S/Info	Existing	None	1
Z1_E69	Z1_E69_P0	301 m²	Serviços	Serviços	Existing	None	1
Z1_E69	Z1_E69_P1	301 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None	1
Z1_E69	Z1_E69_P2	301 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None	1
Z1_E69	Z1_E69_P3	301 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None	1
Z1_E69_A	Z1_E69_P0	62 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None	1
Z1_E69_A	Z1_E69_P1	62 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None	1
Z1_E69_C	Z1_E69_P0	21 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None	1
Z1_E69_D	Z1_E69_P0	39 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None	1
Z1_E69_B	Z1_E69_P1	55 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None	1
Z1_E68	Z1_E68_P0	196 m²	Serviços	Serviços	Existing	None	2
Z1_E68	Z1_E68_P1	196 m²	Armazenagem	Armazenagem	Existing	None	2
Z1_E67	Z1_E67_P0	172 m²	Serviços	Serviços	Existing	None	1
Z1_E67	Z1_E67_P1	172 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None	1
Z1_E67	Z1_E67_P2	172 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None	1
Z1_E66	Z1_E66_P0	199 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None	1
Z1_E66	Z1_E66_P1	199 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None	1
Z1_E66	Z1_E66_P2	199 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None	1
Z1_E65	Z1_E65_P0	92 m²	Serviços	Serviços	Existing	None	2
Z1_E65	Z1_E65_P1	92 m²	Habitação	Habitação	Existing	None	2
Z1_E65	Z1_E65_P2	92 m²	Habitação	Habitação	Existing	None	2
Z1_E64	Z1_E64_P0	179 m²	Comércio	Comércio	Existing	None	1
Z1_E63	Z1_E63_P0	115 m²	Serviços	Serviços	Existing	None	2
Z1_E63	Z1_E63_P1	115 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None	2

Figura 53. Controlo da informação não geométrica no *mass floor schedule*

De modo a verificar a precisão da fotogrametria neste processo, foi realizado um controlo das informações geométricas, nomeadamente a área do piso, conforme extraídas do modelo, como uma extração de quantidades (Anexo III).

O controlo consistiu na comparação da área de implantação presente na Caracterização da ARU (Anexo IV) com a área de implantação de cada edifício no modelo BIM. Este controlo serve também para provar a eficácia dos métodos de levantamento sobre as técnicas consideradas tradicionais, assim como a medição de áreas em planta no *Google Earth Pro*.

O controlo de qualidade geométrica realizado ao longo da modelação dos objetos foi obtido de maneira visual, através das ferramentas básicas de navegação do *Revit*, assim como as vistas de diferentes pisos para aferir o contorno dos edifícios.

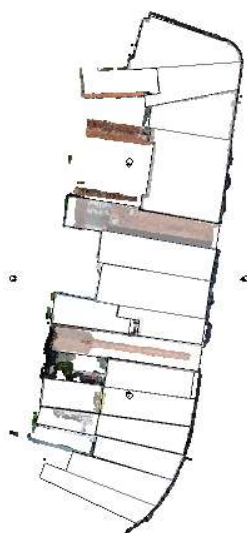


Figura 54. Vista do piso Z1\_E58\_P1

De notar que, os objetos dos edifícios que são constituídos por logradouros foram modelados em massas diferentes, de modo a ter informação precisa sobre o uso de cada piso e não de espaços exteriores, que é atribuído por objeto em massa. Foram registados os seguintes resultados:

Tabela 6. Controlo de qualidade das áreas obtidas das diferentes fontes

Massa	Área de Implantação Modelo BIM (m <sup>2</sup> )	Área de Implantação Documentos Disponíveis (m <sup>2</sup> )	Diferença	% Erro
Z1 E01	244	228	16	6.56%
Z1 E58	104	106	-2	1.92%
Z1 E59	143	162	-19	13.29%
Z1 E60	96	102	-6	6.25%
Z1 E61	157	163	-6	3.82%
Z1 E62	193	200	-7	3.63%
Z1 E63	130	138	-8	6.15%
Z1 E64	179	s/info	--	--
Z1 E65	187	202	-15	8.02%
Z1 E66	262	269	-7	2.67%
Z1 E67	227	230	-3	1.32%
Z1 E68	206	229	-23	11.17%
Z1 E69	478	471	7	1.46%
Z1 E70	142	137	5	3.52%
Z1 E72	128	141	-13	10.16%

A origem dos erros pode estar na metodologia da fotogrametria assim como no método de modelação manual e no método de medição que foi utilizado pelas fontes da CMP. Os resultados por um lado são inconclusivos, mas por outro alertam para a proveniência dos erros, ou seja, a utilização de métodos tradicionais nas diferentes abordagens da interação existente – BIM: a recolha de dados geométrica e a manipulação e modelação dessas informações. A modelação automatizada pela nuvem de pontos não teria tanta margem de erro, por exemplo.

Uma vez que com o recurso a técnicas de topografia e a correta correspondência de imagens aéreas, a nuvem apresenta a orientação geográfica correta. A modelação de objetos a um nível mais simplificado, tanto sejam objetos mais simples ou massas, revela-se importante para a construção de um *City Information Model*. O modelo do existente possui a geometria simples de cada edifício, o que é adequado para a modelação com o fim de reunir informações maioritariamente não geométricas, como os usos existentes e futuros e o tipo de reabilitação que necessita. Este modelo apresenta *Level of Detail 1* visto que é representado por volumes sem telhado nem texturas, e a localização do modelo foi inserida na ferramenta do *Revit*.

A criação de vários modelos como este e a sua junção num sistema de informação geográfica GIS poderão trazer a ideia de um modelo da cidade completo à realidade, como já é o caso de várias cidades europeias. A aplicação *CAD to Earth* permite a inserção de um modelo BIM num mapa virtual; no entanto já não se encontra disponível, pelo que não foi possível testar.

#### 4.4. Modelo dos edifícios com usos futuros

O modelo “futuro” da mesma fração de ARU foi idealizado com base no modelo do existente, com a atribuição de novos usos, o aumento da cércea de alguns edifícios e a alteração da configuração de edifícios e logradouros. Antes de se proceder à modelação do mesmo, foi necessário estudar as possibilidades para reabilitar o conjunto de edifícios em estudo.

Posto isto, foram estudadas as operações de modificação de construções correspondentes a frentes urbanas, como é o caso, no Plano Municipal Diretor do Porto, que estabelece as regras e orientações a que devem obedecer a ocupação, o uso e a transformação do solo para o território municipal do Porto. Deste modo, é retido o Artigo 20.º do PMDP:

##### *Artigo 20.º Edificabilidade*

*1- As obras de edificação a levar a efeito regem -se pelas seguintes disposições:*

- a) Cumprimento dos alinhamentos e das formas de relação do edifício com o espaço público dominante na frente urbana em que o prédio se integra, exceto nas situações em que a CMP já tenha estabelecido ou venha a estabelecer novos alinhamentos;*  
  
*(...)*
- f) A altura da fachada confinante com a via pública não pode exceder a largura do arruamento confrontante, medida entre os limites do espaço público dominante ou estabelecido, não sendo permitidos pisos habitáveis acima dessa altura e sem prejuízo do definido na alínea seguinte;*
- g) Na construção de novos edifícios ou ampliação de edifícios existentes, admite -se um andar recuado para além da altura da fachada definida na alínea anterior, quando tal seja dominante nessa frente urbana, ou sirva de colmatação a empena existente;*
- h) Admite -se a edificação ao nível do piso térreo para além da fachada de tardo do corpo dominante, até 20 % da área compreendida entre esta fachada e o limite posterior do lote;*

*2 — Cumulativamente com a alínea f) do número anterior devem ser atendidas as seguintes disposições:*

- a) Quando o perfil transversal do espaço público e via pública confinantes com uma frente urbana tiver um alargamento pontual numa dada extensão, a cêrcea é a admitida para a restante frente urbana;*
- b) Quando o perfil transversal do espaço público e via pública confinantes com uma frente urbana seja superior a 21 m, a cêrcea já máxima admitida é de 21 m, exceto quando a moda da cêrcea for superior, respeitando -se essa moda, ou quando existir uma cêrcea estabelecida pela CMP para essa frente urbana.*

*3 — A CMP pode impor cêrceas diferentes das resultantes da aplicação dos números anteriores deste artigo, quando estiver em causa a salvaguarda de valores patrimoniais ou a integração urbanística no conjunto edificado onde o prédio se localiza.*

Assim, é fixa a hipótese de todos os edifícios se manterem com os pisos originais, ou seja, com a área de implantação atual, uma vez que a frente urbana não pode ser alterada no sentido de ocupar o passeio. As modificações que podem ocorrer ao nível do piso poderá ser aumentá-lo, utilizando a área do logradouro e foi optado por adicionar um piso recuado a alguns edifícios.

O processo de tratamento da informação foi semelhante à modelação do existente, com base no mesmo modelo. Assim, foram adicionados objetos representativos como andares recuados e o aumento do edifício para o logradouro, assim como o aumento da área bruta através do aumento do número de pisos em alguns edifícios de modo a cumprir a cêrcea da frente urbana.

A realização do modelo correspondente aos usos futuros dos edifícios teve como base geométrica o modelo do existente, uma vez que se mantêm as áreas de implantação. Para a realização dos pisos recuados foi tido em conta o existente do edifício Z1\_E69, uma vez que no PDM não faz referência às indicações de como proceder nesta situação.



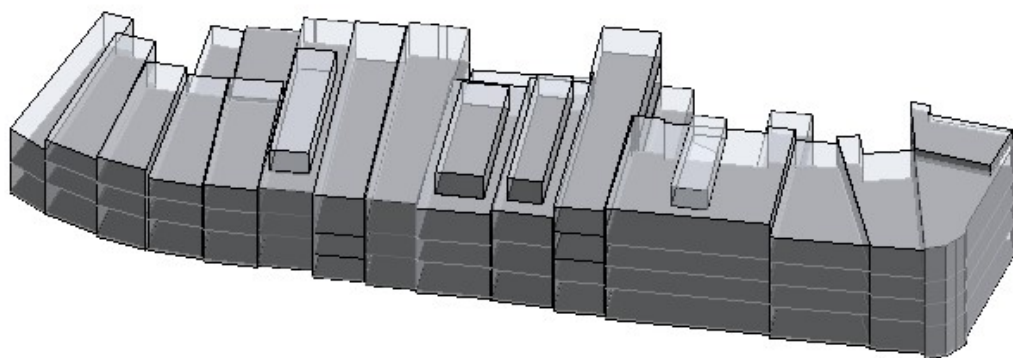


Figura 55. Modelo dos usos futuros e nova configuração

Foram considerados os andares recuados nos edifícios Z1\_E63, Z1\_E66 e Z1\_E67, os quais foram denominados de Z1\_E63\_PR, Z1\_E66\_PR e Z1\_E67\_PR, respetivamente. Relativamente ao uso da área do logradouro para área de construção nova foi usado o edifício Z1\_E65 e Z1\_E63, por isso foi considerado o tipo de reabilitação excecional, grau 4 como construção nova. Ao edifício Z1\_E72 foi atribuído o novo uso de escritórios.

As informações extraídas deste modelo dos usos futuros baseiam-se na possibilidade anteriormente referida de adicionar áreas, pisos recuados e a alteração dos usos na configuração do modelo existente. De notar que este processo é simples de efetuar, uma vez tendo o modelo do existente. Uma base de dados que contenha estes modelos torna-se um sistema fácil de analisar e simples de alterar as informações não geométricas.

A tabela das informações relativas aos usos e transformações futuras do conjunto de edifícios de Mira encontra-se no Anexo V.



## **5. GESTÃO DO PROJETO DE REABILITAÇÃO**

### **5.1. Introdução**

No setor AEC, a gestão de projetos tem como objetivo contribuir positivamente nos resultados de um empreendimento. No entanto, os níveis de complexidade da reabilitação variam conforme o grau de intervenção que se deseja, o que influencia a especificação de um modelo de gestão mais adequado para este tipo de empreendimento.

Os projetos de reabilitação encontram limitações impostas pelo padrão arquitetónico da edificação, como se verifica no PDM. Um dos grandes desafios para os a realização de projetos de reabilitação é a adequação às exigências legais e às necessidades atuais de conforto, sistemas prediais e flexibilidade de uso dos espaços, devido às limitações físicas dos edifícios antigos. A decisão de reabilitar um edifício deve ser fruto da análise de estudos de viabilidade técnico-comercial.

Os empreendimentos de reabilitação possuem características específicas não previstas, que influenciam a produtividade de execução de projetos e impacto nos custos. Por esse motivo, quer seja sob o ponto de vista do custo ou da qualidade, os resultados esperados precisam ser dimensionados levando-se em conta as características específicas e os riscos envolvidos nesse tipo de empreendimento.

As empresas adotam índices médios por metro quadrado para realizarem estimativas de custo de empreendimentos de reabilitação. Esses índices são adaptados aos tipos de intervenções e, portanto, não refletem as condições reais específicas de execução e são criados riscos de desequilíbrios financeiros e de prazo nos contratos de execução das obras. No entanto, para uma análise do investimento inicial, esses índices apesar de posteriormente não corresponderem aos custos reais, são credíveis para fazer uma análise global.

Neste sentido, a gestão de empreendimentos de reabilitação de edifícios é uma atividade com problemas ligados à própria gestão das operações, sendo pertinente a definição de procedimentos que visem auxiliar as tomadas de decisões ao longo do processo, nomeadamente na fase inicial do projeto, nomeadamente a tecnologia BIM.

No presente capítulo procedeu-se à atribuição de valores monetários aos processos de modificação no bloco de edifícios. Os valores foram idealizados com base na experiência dos colaboradores da empresa BIMMS, formando então um valor representativo e não real, a ser aplicado a esta metodologia.

O objetivo nesta fase é obter um preço de reabilitação e posteriormente atribuir um valor de venda ou aluguer à área útil resultante, o que conduz ao estudo do valor associado aos processos de reabilitação.

## **5.2. Necessidade de um modelo de gestão**

O BIM tem-se destacado como uma solução que promove a colaboração de todos os intervenientes num projeto de construção, possibilitando o estudo de múltiplas soluções num prazo reduzido, reduzindo assim os custos em todas as fases.

Na fase inicial de investimento privado de um investimento em projetos de reabilitação urbana, os processos tradicionais apresentam as debilidades:

- A dificuldade de perceção do estado de degradação dos edifícios sem a deslocação ao local;
- A falta, insuficiência ou dificuldade no acesso à informação relativa ao uso do edifício, o seu estado descrito, o estado de ocupação, a disponibilidade para usos futuros;
- A comunicação entre os intervenientes do processo, devido a base de dados múltiplas torna-se reduzida;
- A falta de processos simplificados para o estudo inicial de investimentos de reabilitação;
- A ausência de uma base de dados que contenhas todas estas informações geométricas e não geométricas.

Consequentemente, a informação organizada e apresentada no modelo BIM permite:

- A melhoria das bases de dados disponíveis para consulta do território municipal e processos do sistema de gestão de qualidade territorial
- Assegura que a informação de cada projeto possa ser utilizada no futuro e apenas numa base de dados, que constitui o modelo;

- Associação de custos de investimento em áreas totais do antigo edifício para reconversão em áreas úteis de edifícios com melhor qualidade, através da manipulação das informações em dois modelos.

Assim, esta metodologia representa uma mistura de conceitos, da gestão do edificado com a tecnologia BIM para a análise de um investimento inicial num projeto de reabilitação.

### **5.3. Áreas úteis**

Nas operações de reabilitação e de reconversão para novos usos, são perdidas áreas para a adaptação do edifício às normas de conforto atual: acréscimo áreas técnicas às condições atuais de conforto térmico, introdução de impermeabilizações e isolamentos, acessos e manutenção de áreas úteis de compartimentos. Desde o processo de compra do imóvel com a área total, é depois reabilitado e resulta daí a área útil, ou seja, neste processo é perdida a área útil. Por exemplo, para aumentar a eficiência energética e o conforto dos habitantes ou utilizadores a nível térmico, neste conjunto de edifícios seria utilizada a solução de revestir com isolamento térmico no interior dos edifícios é a mais aconselhada, o que leva a uma perda considerável da área útil.

Na medição das áreas úteis dos compartimentos devem ser incluídas as áreas delimitadas pelo perímetro interior das paredes do compartimento, áreas sob vãos de porta ou de janela de sacada cujo pé-direito não seja inferior a dois metros, áreas ocupadas por roupeiros fixos, áreas ocupadas por aparelhos fixos por exemplo de aquecimentos que se projetam para fora do plano da parede. E são excluídas as áreas ocupadas por pilares, condutas ou outros elementos construídos destacados do perímetro do compartimento e áreas que possuam um pé-direito inferior ao mínimo regulamentar. Nos compartimentos que se desenvolvem em diferentes níveis ou pisos, a área útil do compartimento deve integrar as áreas dos vários pavimentos e a área em planta da escada de ligação interior.

O investidor no edifício a reabilitar compra a área total do edifício, isto é a área de implantação. Já o possível revendedor quando alugar o espaço, apenas aluga a área útil e não a técnica, que neste caso é considerada 10%. Neste processo de investimento em áreas totais do antigo edifício para reconversão em áreas úteis de edifícios com melhor qualidade, estão associados custos.

## 5.4. Atribuição de valores monetários

A atribuição de valores monetários aos processos de modificação no bloco de edifícios foi idealizada com base na experiência dos colaboradores da empresa BIMMS. Tratam-se, portanto, de valores representativos e não reais, a serem aplicados na metodologia resumida na seguinte figura:



Figura 56. Metodologia do estudo do investimento num projeto de reabilitação

Nesta fase foram estudados dois casos de investimento: a venda e o aluguer do edifício reabilitado. Para se proceder a um investimento de reabilitação urbana, é necessária a compra do edifício. Estes valores alteram-se consoante a localização, o estado do edifício, o uso existente, entre outros fatores. Nos edifícios deste caso de estudo, através da análise de mercado para a zona da Campanhã na data atual, o valor de venda de imóveis antigos ronda entre os 1 000 e 1 200€ por metro quadrado construído, enquanto que para construções novas os valores encontram-se no intervalo entre 1 500 e 2 000€ por metro quadrado de área construída. Para ambos os custos foram considerados os valores médios, e associados a todos os usos.

Por sua vez, os custos da reabilitação dos edifícios variam com o tipo de intervenção, desde uma mais superficial e ligeira, como arranjos de pinturas de fachadas exteriores, até às profundas, que se aproximam de uma construção nova. Foi tida também em conta também a relação destes com o preço de construção nova, explicado no Capítulo 2. Os valores são atribuídos à área total da construção. Deste modo, foram considerados, os seguintes valores para os graus de intervenção:

- 1 - Ligeira: 300€/m<sup>2</sup>;
- 2 - Média: 400€/m<sup>2</sup>;
- 3 - Profunda: 500€/m<sup>2</sup>;
- 4 – Excecional: 600€/m<sup>2</sup>.

Paralelamente, após uma análise de mercado na data atual para aluguer de edifícios, foram considerados, em média, os valores para os seguintes usos:

- Habitação: 8 €/m<sup>2</sup>/mês;
- Escritórios: 10 €/ m<sup>2</sup>/mês;
- Hotelaria: não foi considerado para aluguer;
- Comércio ou serviços: 4,10 €/m<sup>2</sup>/mês;
- Armazém: 2,70 €/m<sup>2</sup>/mês.

Através do estudo destes valores, é possível calcular o valor aproximado que uma reabilitação irá custar assim como a rentabilidade após as alterações de reabilitação para o aluguer ou venda. O investidor tem um ganho: a diferença entre o gasto na reabilitação e o preço realizado pelo aluguer ou pela venda. O gasto monetário para manutenção do edifício não foi considerado. Para o aluguer não foi considerada a compra do imóvel, considerando assim o mesmo proprietário. As tabelas com os cálculos efetuados e resultados encontram-se no Anexo VI.

Os resultados apresentam-se positivos para uma análise global, o que prova a aplicabilidade de modelos simplificados para este tipo de cálculos e agrupamentos de informações, fulcrais numa análise de investimento inicial.

## **5.5. Resultados obtidos**

O resultado principal a analisar é a rentabilidade por metro quadrado para a venda dos edifícios reabilitados e o valor da rentabilidade a fim de um período, considerado 10 anos, do edifício do mesmo proprietário que investe na reabilitação. Estes valores apontam para uma rentabilidade positiva, apesar de não estarem incluídas taxas nem custos adicionais de manutenção.

Os valores mais altos encontram-se associados à alteração do uso atual, pois para além do custo de reabilitação ser superior ao da manutenção do uso, a diferença entre o investimento e a venda é maior, como verificado nos pisos que correspondem a usos futuros para escritórios.

A construção de um piso recuado nos edifícios Z1\_E63, Z1\_E66 e Z1\_E67 traz menos rentabilidade por metro quadrado, uma vez que se compra o espaço e o valor investido é semelhante ao de uma construção nova. Nos edifícios com usos para hotelaria e semelhantes não foi considerado o valor de aluguer, e o custo de compra e venda foi semelhante em relação aos outros usos. Nos edifícios Z1\_E65 e Z1\_E63, os quais se aumentaram a sua área do logradouro e anexos como operação de ampliação, a rentabilidade é menor, uma vez que o grau da reabilitação foi próximo da construção nova. O edifício Z1\_E72, o qual se alterou o uso de habitação para escritórios, apresenta uma rentabilidade moderada, aproximadamente 200 euros por metro quadrado. O valor mais alto para a rentabilidade de venda de imóveis são os edifícios de hotelaria, por constituírem um valor de venda mais elevado. Relativamente ao aluguer de edifícios, ao fim de 10 anos estes revelam um rendimento médio de 320 euros por metro quadrado.

Todos estes resultados são meramente globais, não considerando os apoios existentes à reabilitação, taxas diversas e a falta de diagnóstico de intervenção, mas oferecem uma análise geral para este tipo de investimentos.

A fonte de informação utilizada para o efeito é simples de utilizar e extrair tabelas de áreas, assim como associar facilmente a área perdida para áreas técnicas de sistemas de conforto. A metodologia, apesar de ser uma análise global, revela-se com resultados positivos, considerando uma metodologia a ser utilizada pelo investidores.

## 5.6. Limitações

O objetivo desta dissertação foi criar um método de apoio aos empreendimentos de reabilitação urbana numa fase inicial do investimento. Como tal, foi realizado um modelo BIM de objetos representativos dos edifícios referentes ao caso de estudo. No entanto, esta metodologia apresenta debilidades as quais não são possíveis de ultrapassar. Para uma melhor visualização da localização do modelo realizado seria necessária a interação deste com as tecnologias GIS, o que não foi possível explorar. A localização do modelo foi simplesmente inserida no *Revit*, assim como a morada de cada edifício no parâmetro *Mark*.

Para além disso, a geometria dos edifícios, como se pode aferir, não é precisa, devido aos vários erros na interação: a modelação “em cima da nuvem” e a falta de automatismo no processo. Numa fase de estudo de investimento inicial a precisão não é requirida, mas numa fase avançada do projeto seria necessária.

O valor associado às operações de reabilitação não são precisos, pelo que são suficientes para uma análise global. Nos projetos de reabilitação ocorrem muitos imprevistos por falta de diagnóstico, o que também constitui um risco à incerteza destes valores arredondados. Por sua vez, os valores associados à venda e aluguer constituem valores médios do mercado na data atual em Campanhã, pelo que não são considerados valores precisos e no futuro podem ser modificados.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPETIVAS FUTURAS

### 6.1. Considerações finais

É pertinente o desenvolvimento de uma metodologia transversal que agregue parâmetros que sejam capazes de dar resposta às problemáticas existentes na reabilitação de edifícios, contribuindo para a adoção de métodos inovadores de agrupar a informação do existente, como o caso das *City Information Models* e auxílio na gestão do empreendimento e na tomada de decisão nos investimentos de reabilitação. A manipulação de informações do edificado a partir de um modelo BIM revela-se uma metodologia importante para várias temáticas, como o caso prático de estudo da gestão de projetos de reabilitação para a análise de valores viáveis para um investimento.

A referir também que os serviços de fotografias aéreas, cada vez estão mais associadas à área de AEC. São fontes de informação geométrica fulcrais para levantamento do existente, para a formação de nuvem de pontos fotogramétrica, quando o rigor ao milímetro não for exigido, e visual, para a monitorização da construção. É importante a formação de técnicos especializados neste tipo de serviços, devido à crescente procura e às vantagens que oferecem no setor.

O objetivo principal desta dissertação baseou-se na criação de uma metodologia para apoiar os investimentos em projetos de reabilitação urbana, com o apoio das tecnologias da informação BIM, nomeadamente um modelo de um conjunto de edifícios que reunisse as informações geométricas e não geométricas destes. O modelo em si também contribui para um melhor acesso à informação que existe em relatórios de caracterização de zonas, ou, geralmente, não existe, evitando assim a visita ao local e outras técnicas mais tradicionais de levantamento. Para enquadrar e alcançar o objetivo foi necessário estudar a reabilitação em Portugal, nomeadamente o preço venda de imóveis e a percentagem de área perdida para áreas técnicas, as técnicas de levantamento do edificado e o *City Information Modeling*.

A metodologia para a concretização do objetivo foi baseada na interação fotogrametria -BIM. A fotogrametria revelou-se eficaz para este tipo de análise, uma vez que a precisão não é especificamente requerida, não apresenta uma grande margem de erro e é uma fonte rica da



informação geométrica. A atribuição de informação não geométrica ao piso de cada modelo também se revelou fácil de manipular e aceder.

No entanto, um modelo CIM não foi alcançado, uma vez que a visualização do modelo na localização real não foi experimentada, e o modelo em si só apresenta um *Level of Detail* 1: blocos representativos de edifícios. Este aspeto poderá ser melhorado através da interação com ferramentas GIS.

O objetivo de sistematizar procedimentos de gestão que atendam às práticas mais eficientes e com contributo para organizar a informação disponível num modelo BIM de um conjunto de edifícios foi alcançado, e experimentado uma análise económica aos processos de reabilitação. A análise é meramente representativa; porém, este método pode ser utilizado com base em valores adaptados das empresas.

É importante concluir que o levantamento de edifícios por parte dos municípios, é muito importante para gerir uma base de dados para poder ser acedida e como maneira de combater a desertificação urbana e intervenções de reabilitação que se revelem desnecessárias, facilitando o processo de visualização de edifícios disponíveis para investimento em reabilitação urbana, assim como para verificar o estado destes sem ter que deslocar ao local. Também se conclui com o estudo que existe necessidade de uma abordagem mais sistemática na gestão do processo de reabilitação de edifícios, em particular que os resultados do estudo auxiliem os investidores na criação de diretrizes para a execução de projetos de reabilitação de edifícios nos grandes centros urbanos, em Portugal, e, até certo ponto, pode contribuir para o auxílio na formulação de políticas públicas.

Este trabalho contribui para o conhecimento de um instrumento estratégico na área da gestão da informação de empreendimentos de reabilitação de edifícios, tornando as informações mais acessíveis com vista à recolha de ideias inovadoras sobre a temática e contribuindo para o sucesso das operações de investimento.

## **6.2. Perspetivas futuras**

A metodologia e os resultados obtidos nesta dissertação representam várias vantagens para a gestão da reabilitação em ambiente urbano. No entanto, a metodologia pode ser aplicada a outros fins. A interação do custo com o modelo revela também uma aproximação da interação custo – CIM, que poderá ser utilizada no futuro por empresas de imobiliário. O CIM também

se revela importante na gestão do território, para fugas de emergência, planos de evacuação no caso de incêndios em grande escala, planeamento do território urbano, entre outros.

Hoje em dia são utilizados os modelos BIM dos edifícios novos principalmente, o que depois poderiam ser utilizados e agrupados para a formação de um CIM. No entanto, esta abordagem traria desvantagens, por exemplo no acesso a informações de construções de relevância maior, como privados ou construções as quais não podem ser relevadas informações pormenorizadas. O modelo da informação da cidade pode ser utilmente usado para a gestão de emergência, ou seja, a criação de fugas de emergência em casos de risco, de causas naturais ou até humanas, através da melhor gestão do modelo para esse fim, como por exemplo, a fuga mais rápida para zonas de cota maior no caso de inundações. O planeamento de cenários de risco com recurso a metodologias BIM ainda é muito raro nas pesquisas. Porém, teria de haver um controlo da informação do *City Information Model*, de modo a ser útil para habitantes e visitantes, mas respeitando as informações confidenciais e privadas.

Por outro lado, a criação de modelos automáticos a partir de fontes de informação geométrica como as nuvens de pontos da fotogrametria e LS, o automatismo ainda se verifica nas fases iniciais, pelo que caso existisse teria um grande impacto na modelação do edificado.

Além disso, outras funcionalidades potenciais do BIM relacionadas com a reabilitação ainda não são abordadas, como o planeamento da execução da desconstrução, acompanhamento do progresso, reciclagem e gestão de resíduos, muito importante atualmente face à normalização existente e cruciais na gestão da reabilitação.

Por último, a temática desta dissertação sugere a existência de uma metodologia cada vez mais eficaz de agrupar a informação do edificado, capaz de reduzir o tempo necessário em levantamentos e visitas ao local, eficaz para obtenção de dados não geométricos e efetiva na visualização da localização do modelo. Uma ideia a formar com a metodologia desta dissertação seria a criação de um visualizador o qual pudesse atribuir cores aos edifícios consoante alguns critérios e parâmetros de interesse: sua utilização, estado de degradação, o preço de compra, e a atribuição de escalas a estes parâmetros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. P. Martins, “A Sustentabilidade na Reabilitação do Edificado,” Universidade Fernando Pessoa do Porto, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2014.
- [2] CET/ISCTE, A. M. & Associados e IRIC/UP, “Contributos para o Plano Estratégico de Habitação 2008-2013 Relatório 2: Políticas de Habitação,” Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, 2013.
- [3] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks e K. Liston, *A Guide to Building Information Modelling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors.*: Aufl. Hoboken: Wiley., 2011.
- [4] A. Quintela, “Classificação e organização de objetos BIM e sua aplicação em modelos 4D&5D,” 2015.
- [5] X. Xiong, A. Adan, B. Akinci e D. Huber, “Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data,” *Elsevier*, pp. 325-337, 2012.
- [6] C. Almeida, “Parceria Leica Geosystems/ PH Informática - Fluxo de trabalho integrado para a indústria AEC,” em *Da nuvem de pontos ao modelo BIM*, Maia, 2017.
- [7] d. 7. d. M. Decreto-Lei nº 104/2004, “Aprova um regime excepcional de reabilitação urbana para as zonas históricas e áreas críticas de recuperação e reconversão urbanística”.
- [8] R. Oliveira, “Metodologia de gestão de obras de reabilitação em centros urbanos históricos,” FEUP, Porto, 2012.
- [9] Diário da República, “1.ª série — N.º 109 — 5 de junho de 2015,” *Diário da República*, 2015.
- [10] Portal da Habitação, “Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana,” 26 fevereiro 2017. [Online]. Available: <http://www.portaldahabitacao.pt/pt/ihru/>.
- [11] P. d. Habitação, 2016 fevereiro 18. [Online]. Available: <http://www.portaldahabitacao.pt/pt/portal/reabilitacao/homearu.html>. [Acedido em 03 março 2017].
- [12] IHRU, “Programa “Reabilitar para Arrendar”,” [Online]. Available: [http://www.portaldahabitacao.pt/opencms/export/sites/portal/pt/portal/reabilitacao/reabilitarparaarrendar\\_ha/RpA\\_apresentacao.pdf](http://www.portaldahabitacao.pt/opencms/export/sites/portal/pt/portal/reabilitacao/reabilitarparaarrendar_ha/RpA_apresentacao.pdf). [Acedido em 6 março 2017].
- [13] J. B. Pedro, “Área útil do fogo. Revisão das exigências regulamentares,” LNEC.

- [14] “Economias,” 02 01 2017. [Online]. Available: <https://www.economias.pt/valor-medio-de-construcao-por-metro-quadrado-a-vigorar/>. [Acedido em 25 julho 2017].
- [15] R. Volk, J. Stengel e F. Schultmann, “Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – literature review and future needs,” *Automation in Construction*, DOI: 10.1016/j.autcon.2013.10.023, vol. 38, pp. 109-127, 2014.
- [16] R. C. Campiotto, “O levantamento métrico-arquitetónico na conservação do património,” 15 abril 2016. [Online]. Available: <https://conservafau.wordpress.com/2016/04/15/o-levantamento-metrico-arquitetonico-na-conservacao-do-patrimonio/>. [Acedido em 27 março 2017].
- [17] S. T. A. B. U. S. A. Braun, “A concept for automated construction progress monitoring using BIM-based geometric constraints and photogrammetric point cloud,” *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 20, pp. 68-79, 2015.
- [18] A. C. Jeronymo e P. Pereira, “Comparação de métodos de levantamento topográfico, utilizando scanner a laser, estação total e fotogrametria terrestre,” Curitiba, 2015.
- [19] L. Barazzetti, “Parametric as-built model generation of complex shapes from point clouds,” *Elsevier*, vol. 30, pp. 298-311, 2016.
- [20] F. Remondino, “Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning,” *Remote Sensing Journal*, vol. 3, pp. 1104-1138, 2011.
- [21] F. Remondino, F. Menna e E. Nocerino, “Automation in photogrammetric 3D reconstruction,” 3DOM - 3D Optical Metrology, [Online]. Available: <https://3dom.fbk.eu/projects/automation-photogrammetric-3d-reconstruction>. [Acedido em 27 abril 2017].
- [22] J. K. Hasegawa e M. Galo, “Fotogrametria Digital: Roteiro de uso do módulo LPS do ERDAS Júlio Kiyoshi Hasegawa Mauricio Galo Presidente Prudente 2015 Fotogrametria Digital: Roteiro de uso do módulo LPS do ERDAS Engenharia Cartográfica, 20152 Módulos 02 / Maio Introdução à Fotogram,” 2015.
- [23] T. Schenk, “Introduction to Photogrammetry,” The Ohio State University, 2005.
- [24] J. M. d. A. Valença, E. N. B. Santos Júlio e H. d. J. Araújo, “Aplicações de Fotogrametria em Engenharia Civil,” Coimbra.
- [25] F. Emondino, M. G. Spera, E. Nocerino, F. Menna e F. Nex, “State of the art in high density image matching,” *The Photogrammetric Record*, vol. 29, pp. 144-166, 2014.
- [26] F. Remondino, “State of the Art in Dense Image Matching Presentation,” Trento, Itália, 2014.

- [27] K. Schindler, “Mathematical Foundations of Photogrammetry,” Photogrammetry and Remote Sensing, ETH Zürich, Switzerland, 2014.
- [28] I. Datchev, A. Habib e J. Y. Rau, “Image matching for 3D photogrammetric reconstruction,” 2011.
- [29] A. Sánchez, J. M. Naranjo, A. Jiménez e A. González, “Analysis of Uncertainty in a Middle-Cost Device for 3D Measurements in BIM Perspective,” *Sensors*, vol. 16, 2016.
- [30] H. Geospatial, “Tie Points,” Hexagon Geospatial, 22 abril 2014. [Online]. Available: [https://wiki.hexagongeospatial.com/index.php?title=Tie\\_Points](https://wiki.hexagongeospatial.com/index.php?title=Tie_Points). [Acedido em 12 abril 2017].
- [31] W. K. F. D. a. H. N. Rothermel M., “Photogrammetric Surface Reconstruction from Imagery,” Berlin, 2012.
- [32] G. B. G. Series, “GSA BIM Guide For 3D Imaging,” U.S. General Services Administration, 2009.
- [33] M. R. Tietoa Finland Oy, “Common BIM Requirements Series 2: Modeling of the starting situation,” buildingSMART, 2012.
- [34] I. E57, “libE57: Software Tools for Managing E57 Files,” [Online]. Available: <http://www.libe57.org/>. [Acedido em 26 maio 2017].
- [35] I. UASMaster, “<http://www.trimble.com/geospatial/inpho-uasmaster>,” Trimble, 18 maio 2017. [Online].
- [36] S. Rizvic e G. Radošević, “Laser Scanning Versus Photogrammetry Combined with Manual Post-modeling in Stećak Digitization,” University of Sarajevo, 2012.
- [37] G. innova, “Comparativa de programas para fotogrametria,” [Online]. Available: <https://geoinnova.org/blog-territorio/comparativa-de-programas-para-fotogrametria/>. [Acedido em 17 maio 2017].
- [38] G. Radošević, “Laser Scanning Versus Photogrammetry Combined with Manual Post-modeling in Stećak Digitization,” 2012.
- [39] N. J. Groetelaars e A. L. d. Amorim, “Tecnologia 3D Laser Scanning: características, processos e ferramentas para manipulação de nuvens de pontos,” LCAD, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2011.
- [40] N. L. Lopes, T. Yamanashi, R. Braz, J. C. Lino, B. Caires, P. Ferreira, K. M. Kensek, J. Monteiro e L. Santos, BIM is More, N. L. Lopes, Ed., Porto, 2016.

- [41] Thompson, E. Mine, P. Greenhalgh, Muldoon-Smith, Charlton, M. James e Dolnik, “Planners in the Future City: Using City Information Modelling to Support Planners as Market Actors. Urban Planning,” *Cogitatio*, vol. 1, pp. 79-94, 2016.
- [42] F. R. Correa e E. T. Santos, “Towards City Information Modeling,” em *VII Encontro de TIC na Construção*, São Paulo, 2015.
- [43] A. L. Amorim, “Completando o quadro, também surgiram as aplicações da modelagem paramétrica com foco no projeto e no planeamento urbano, naquilo que ultimamente têm sido denominados de “urbanismo paramétrico”, “city CAD” e outras terminologias, para essas ferramentas,” em *SIGraDi 2016, XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, Buenos Aires, Argentina, 2016.
- [44] X. Xu, L. Ding, H. Luo e L. Ma, “From Building Information Modeling to City Information Modeling,” *ITcon - Journal of Information Technology in Construction*, vol. 19, nº Special Issue BIM Cloud-Based Technology in the AEC Sector: Present Status and Future Trend, pp. 292-307, 2014.
- [45] Benner e Geiger, “Flexible Erzeugung von semantischen 3D-Gebäudemodellen. Proceedings des 1. internationalen Workshops zum nächsten 3D-Stadtmodell der nächsten Generation,” Bonn, 2005.
- [46] S. Amirebrahimi, A. Rajabifard, P. Mendis e T. Ngo, “A Data Model for Integrating GIS and BIM for Assessment and 3D Visualisation of Flood Damage to Building,” *Elsevier*, 2015.
- [47] P. T. R. S. K. L. Chuck Eastman, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, 2nd Edition, 2011.
- [48] “Exploring the potential of the City Information Models in Territorial Management Instruments for Urban Scale”.
- [49] X. Liu, X. Wang, G. Wright, J. C. P. Cheng, X. Li e R. Liu, “A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS),” *International Journal of Geo- Information*, 2017.
- [50] E. D. S. F. H. S. Azarakhsh Rafieea, “From BIM to geo-analysis: view coverage and shadow analysis by BIM/GIS integration,” *Elsevier*, vol. 22, pp. 397-402, 2014.
- [51] V. Bansal, “Use of GIS and topology in the identification and resolution of space conflicts.J. Comput. Civ. Eng.,” *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 25, p. 159–171, 2010.
- [52] M. A. J. C. Lino e B. Caires, “BIM na Engenharia Civil: Projeto e Construção,” 2015.
- [53] BuildingSMART, “BuildingSMART,” 2017. [Online]. Available: <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications>. [Acedido em 21 Fevereiro 2017].

- [54] buildingSMART, “IFC4 Official Release,” [Online]. Available: <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/final/html/>. [Acedido em 22 março 2017].
- [55] T. Liebich, “IFC4 – the new buildingSMART Standard,” buildingSMART International, 2013.
- [56] E. W. East, “Specifiers Properties information exchange (SPie) : Minimum Building Information Model (BIM) Object Definitions,” 2013.
- [57] buildingSMART, “IFC4 Release Summary,” 2013. [Online]. Available: <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-releases/ifc4-release>. [Acedido em 28 março 2017].
- [58] BuildingSmart, “BuildingSmart - Information Delivery Manuals,” 2017. [Online]. Available: <http://iug.buildingsmart.org/idms/>. [Acedido em 22 Fevereiro 2017].
- [59] BuildingSmart, “National Institute of Building Science,” 2017. [Online]. Available: [https://www.nibs.org/?page=bsa\\_ifdlibrary](https://www.nibs.org/?page=bsa_ifdlibrary). [Acedido em 22 Fevereiro 2017].
- [60] NBS, “NBS BIM Object Standard v1.3,” NBS, [Online]. Available: <https://www.nationalbimlibrary.com/nbs-bim-object-standard>. [Acedido em 27 março 2017].
- [61] NBS, “NBS BIM Object Standard Version 1.3/0616,” RIBA Enterprises Limited, 2014.
- [62] B. Caires, “BIM as a tool to support the collaborative project between the Structural Engineer and the Architect, BIM Execution Plan, education and promotional initiatives,” Universidade do Minho , 2013.
- [63] A. C. Lima, “Upgrade of an industrial building: BIM model of the as-built situation and evaluation of modifications,” 2015.
- [64] A. S. V. Almeida, “Modelação Tridimensional da Zona Histórica de Leiria em Ambiente SIG3D,” Instituto Politécnico de Leiria, 2016.
- [65] I. O. f. Standardization, “ISO 19136:2007 Geographic information -- Geography Markup Language (GML),” [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/32554.html>. [Acedido em 16 março 2017].
- [66] O. G. Consortium, “Geography Markup Language,” [Online]. Available: <http://www.opengeospatial.org/standards/gml>. [Acedido em 16 março 2017].
- [67] “CityGML Homepage,” 17 fevereiro 2017. [Online]. Available: <https://www.citygml.org/>.

- [68] Y. Deng, J. C. P. Cheng e C. Anumba, “Mapping between BIM and 3D GIS in different levels of detail using schema mediation and instance comparison,” *Elsevier*, vol. 67, nº Automation in Construction, pp. 1-21, 2016.
- [69] X. Wanga, P. E. Love, M. J. Kim, C.-S. Parkd, C.-P. Singa e L. Hou, “A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality,” *Elsevier*, vol. 34, pp. 37-44, 2013.
- [70] X. Liu, X. Wang, G. Wright, J. C. P. Cheng, X. Li e R. Liu, “A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS),” *International Journal of Geo- Information*, 2017.
- [71] M. Azenha, J. C. Lino e B. Caires, “BIM na Engenharia Civil: Projeto e Construção,” 2015.
- [72] G. Moneris, “Valor patrimonial tributário,” 2013. [Online]. Available: <http://www.moneris.pt/guiafiscal2013/dado.php?cod=31>. [Acedido em 10 março 2017].
- [73] A. C. Galego, “Exploring the potential of the City Information Models in Territorial Management Instruments for Urban Scale,” Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- [74] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks e H. Liston, em *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, 2008, pp. 235-236.
- [75] N. J. Groetelaars e A. L. Amorim, “Tecnologia 3D Laser Scanning: Características, Processos e Ferramentas para Manipulação de Nuvens de Pontos,” 2011.
- [76] “Diário da República, 2.ª série — N.º 207 — 25 de outubro de 2012,” 2012.
- [77] Faro, “<http://www.faro.com/pt-br/produtos/exames-em-3d/faro-focus-sup-3d-sup-/aplicacoes#main>,” Faro Laser Scanner, [Online]. Available: <http://www.faro.com/pt-br/produtos/exames-em-3d/faro-focus-sup-3d-sup-/aplicacoes#main>. [Acedido em 22 abril 2017].





## ANEXOS

### Anexo I - Diagnóstico do edifício Z1\_E01 presente no Balcão Virtual da CMP





ARU CAMPANHÃ SETOR ESTAÇÃO		FICHA Zona1_MIRA_01							
	 <small>VISTA AÉREA E PLANTA _ Zona 1_MIRA</small>								
	<b>1. LOCALIZAÇÃO</b> Rua de Pinto Bessa n.º 1								
	<b>2. CADASTRO</b> Terreno edificado <input checked="" type="checkbox"/> área de implantação da edificação 228 m <sup>2</sup> Terreno livre <input type="checkbox"/> área total do terreno m <sup>2</sup> Entidade Proprietária Privados <input checked="" type="checkbox"/> Estado <input type="checkbox"/> Município <input type="checkbox"/> Outras Instituições <input type="checkbox"/> Designação _____ Classificação Patrimonial _____ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nr. Carta</th> <th>Niv. Class.</th> <th>Designação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>			Nr. Carta	Niv. Class.	Designação			
Nr. Carta	Niv. Class.	Designação							
<b>3. USOS, TIPO, Nº PISOS E ESTADO DE OCUPAÇÃO DO EDIFÍCIO</b>									
USO DO EDIFÍCIO <i>na globalidade</i>	Pisos total	TIPO <i>detalhe da função dominante</i>	OCUPAÇÃO <i>ocupado, parcial, vago</i>	MERCADO IMOBILIÁRIO <i>venda ou alugar destino</i>					
Misto (comércio e serviços)	4	escritórios	Parcial						
USO DO EDIFÍCIO P/PISO <i>por cada piso</i>	PISO	TIPO <i>detalhe da função por piso</i>	OCUPAÇÃO <i>ocupado, parcial, vago</i>	MERCADO IMOBILIÁRIO <i>venda ou alugar destino</i>					
Serviços	n/c	café	ocupado						
Serviços	1º	compra e venda de ouro	ocupado						
Serviços	2º	escritórios	vago						
Sem informação	3º	sem informação	sem informação						
	4º +								
ESTACIONAMENTO <i>na própria edificação</i>		PISO <i>localização na edificação</i>	CAPACIDADE <i>de estacionamento</i>						
CASAS OPERÁRIAS	nº CASAS	Pisos	TIPOLOGIA	OCUPAÇÃO					
MERCADO IMOBILIÁRIO									

Figura 57. Diagnóstico do edifício Z1\_E01 presente no Balcão Virtual da CMP (continuação)


 <p>FOTOS DE FACHADA</p>	<b>4. ESTADO DE CONSERVAÇÃO</b>	
	Ruína <input type="checkbox"/> Mau <input type="checkbox"/> Razoável a necessitar obras profundas <input type="checkbox"/> Razoável a necessitar obras ligeiras <input checked="" type="checkbox"/> Bom <input type="checkbox"/> Em obras <input type="checkbox"/>	elementos estruturais em falta sem condições de utilização elementos estruturais muito danificados elementos deteriorados ou dissonantes condições adequadas de utilização intervenção em curso
	<b>5. RELEVÂNCIA URBANÍSTICA</b>	
	edifício com interesse de preservação <input checked="" type="checkbox"/> finalidade: para o(s) mesmo(s) uso(s) <input type="checkbox"/> para reconversão em novo(s) uso(s) <input checked="" type="checkbox"/> Observações: Poderá acolher habitação.	edifício que se admite a substituição <input type="checkbox"/> motivo: inserção desadequada ou dissonante <input type="checkbox"/> ruína sem interesse <input type="checkbox"/> estado de degradação <input type="checkbox"/> possibilidade de integrar o espaço público <input type="checkbox"/> outro <input type="checkbox"/>
<b>6. ATRIBUTOS</b>		
o edifício acolhe funções urbanas:		observações:
Atividades criativas <input type="checkbox"/> Atividades culturais, cívicas ou de lazer <input type="checkbox"/> Comércio tradicional <input type="checkbox"/> Ofícios tradicionais <input type="checkbox"/> Equipamento estruturante local <input type="checkbox"/> Oferta turística <input type="checkbox"/> Atividades económicas de utilidade local <input checked="" type="checkbox"/> Outros <input type="checkbox"/>		_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____
<b>7. NOTAS</b>		
_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____		

Figura 58. Diagnóstico do edifício Z1\_E01 presente no Balcão Virtual da CMP

## Anexo II - Autorização de voo



### AUTORIZAÇÃO / AUTORIZATION N.º AAN 2705/17

Nos termos do artigo 4º da Lei n.º 28/2013, de 12 de abril, é concedida a autorização ao requerente abaixo indicado, para efectuar o seguinte tipo de operação:  
In accordance with article 4 of Law 28/2013, dated 12 April, we hereby grant permission to the applicant below to carry out the operation stated in item 1., under the following conditions:

#### TITULAR / HOLDER

Nome/Entidade: Tiago da Silva Delgado  
Name/Entity  
Telefone: -- Tim: 969 777 660  
Telephone Mobile

#### PILOTO / PILOT

Nome/designação: Tiago da Silva Delgado  
Name/designation  
Telefone: -- Tim: 969 777 660  
Telephone Mobile

1. Tipo de operação autorizada: Fotografia oblíqua e panorâmica.  
Type of Operation

2. Condições técnicas e administrativas estabelecidas:  
Technical and Administrative Procedures

Captação de imagens aéreas para tese de mestrado, e divulgação em redes sociais, através da plataforma n.º OAXDE290B31027, na área do Porto definida pela seguinte coordenada geográfica central e raio:  
- 41° 8' 54.24"N 008° 35' 11.15"W (Raio: 50m).

3. Limitações impostas:  
Limitations

Operação de acordo com o Regulamento n.º 1093/2016 da ANAC.

Que os produtos audiovisuais obtidos sejam divulgados, exclusivamente, no contexto autorizado.

**NOTA IMPORTANTE:** A presente autorização não dispensa o cumprimento de outros regimes jurídicos constantes de diplomas legais e regulamentares que sejam, eventualmente, aplicáveis.

**PLEASE BE AWARE:** The present authorization does not exempt the fulfillment of other legal obligations established in the applicable texts.

Válida de / from

14 de junho de 2017 a / to 31 de julho de 2017

Alfragide, 12 de junho de 2017

*Pl* O Chefe do Gabinete

José Augusto de Barros Ferreira  
Major-General

*AR* *29*  
*SCH*

Figura 59. Autorização para a obtenção de imagens aéreas



**Anexo III - Extração de quantidades e informações do modelo do existente**

Tabela 7. Extração de informações dos pisos existentes

<b>Schedule 1_Existente</b>						
<b>Mass: Family</b>	<b>Level</b>	<b>Floor Area</b>	<b>Usage</b>	<b>Future Usage</b>	<b>Phase Created</b>	<b>Phase Demolished</b>
Z1_E01	Z1_E01_P0	173 m <sup>2</sup>	Serviços	Serviços	Existing	None
Z1_E01	Z1_E01_P1	173 m <sup>2</sup>	Serviços	Serviços	Existing	None
Z1_E01	Z1_E01_P2	173 m <sup>2</sup>	Serviços	Serviços	Existing	None
Z1_E01	Z1_E01_P3	173 m <sup>2</sup>	S/info	S/info	Existing	None
Z1_E01_A	Z1_E01_P4	71 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	Existing	None
Z1_E58	Z1_E58_P0	104 m <sup>2</sup>	Comércio	Comércio	Existing	None
Z1_E58	Z1_E58_P1	104 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	Existing	None
Z1_E59	Z1_E59_P0	143 m <sup>2</sup>	Comércio	Comércio	Existing	None
Z1_E59	Z1_E59_P1	143 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None
Z1_E59	Z1_E59_P2	143 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None
Z1_E60	Z1_E60_P0	96 m <sup>2</sup>	Comércio	Comércio	Existing	None
Z1_E60	Z1_E60_P1	96 m <sup>2</sup>	Armazenagem	Armazenagem	Existing	None
Z1_E60	Z1_E60_P2	96 m <sup>2</sup>	Armazenagem	Armazenagem	Existing	None
Z1_E61	Z1_E61_P0	103 m <sup>2</sup>	Serviços	Serviços	Existing	None
Z1_E61	Z1_E61_P1	103 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	Existing	None
Z1_E61	Z1_E61_P2	103 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	Existing	None
Z1_E61_A	Z1_E61_P0	54 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	Existing	None
Z1_E61_A	Z1_E61_P1	54 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	Existing	None
Z1_E62	Z1_E62_P0	117 m <sup>2</sup>	Serviços	Serviços	Existing	None
Z1_E62	Z1_E62_P1	117 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	Existing	None
Z1_E62	Z1_E62_P2	117 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	Existing	None
Z1_E62_A	Z1_E62_P0	76 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	Existing	None
Z1_E62_A	Z1_E62_P1	76 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	Existing	None
Z1_E62_A	Z1_E62_P2	76 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	Existing	None
Z1_E63	Z1_E63_P0	115 m <sup>2</sup>	Serviços	Serviços	Existing	None
Z1_E63	Z1_E63_P1	115 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None
Z1_E63	Z1_E63_P2	115 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None
Z1_E63_A	Z1_E63_P0	15 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None
Z1_E63_A	Z1_E63_P1	15 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	Existing	None
Z1_E64	Z1_E64_P0	179 m <sup>2</sup>	Comércio	Comércio	Existing	None
Z1_E65	Z1_E65_P0	92 m <sup>2</sup>	Serviços	Serviços	Existing	None
Z1_E65	Z1_E65_P1	92 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	Existing	None
Z1_E65	Z1_E65_P2	92 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	Existing	None

Z1_E65_A	Z1_E65_P0	95 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E65_A	Z1_E65_P1	95 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E65_A	Z1_E65_P2	95 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E66	Z1_E66_P0	199 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E66	Z1_E66_P1	199 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E66	Z1_E66_P2	199 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E66_A	Z1_E66_P0	63 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E66_A	Z1_E66_P1	63 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E67	Z1_E67_P0	172 m <sup>2</sup>	Serviços	Serviços	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E67	Z1_E67_P1	172 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E67	Z1_E67_P2	172 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E67_A	Z1_E67_P0	55 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E67_A	Z1_E67_P1	55 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E68	Z1_E68_P0	196 m <sup>2</sup>	Serviços	Serviços	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E68	Z1_E68_P1	196 m <sup>2</sup>	Armazenagem	Armazenagem	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E69	Z1_E69_P0	301 m <sup>2</sup>	Serviços	Serviços	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E69	Z1_E69_P1	301 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E69	Z1_E69_P2	301 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E69	Z1_E69_P3	301 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E69_A	Z1_E69_P0	62 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E69_B	Z1_E69_P1	55 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E69_C	Z1_E69_P0	21 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E69_D	Z1_E69_P0	39 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E70	Z1_E70_P0	142 m <sup>2</sup>	Serviços	Serviços	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E70	Z1_E70_P1	142 m <sup>2</sup>	Serviços	Serviços	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E70	Z1_E70_P2	142 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E70	Z1_E70_P3	142 m <sup>2</sup>	Habitação	Habitação	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E72	Z1_E72_P0	128 m <sup>2</sup>	Comércio	Escritórios	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E72	Z1_E72_P1	128 m <sup>2</sup>	Habitação	Escritórios	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E72	Z1_E72_P2	128 m <sup>2</sup>	Habitação	Escritórios	<i>Existing</i>	<i>None</i>
Z1_E72	Z1_E72_P3	128 m <sup>2</sup>	Habitação	Escritórios	<i>Existing</i>	<i>None</i>

**Anexo IV - Diagnóstico dos edifícios em formato de tabela**

Tabela 8. Diagnóstico dos edifícios da Z1\_Mira

ARU	Campanhã
Setor	Estação
Zona	Z1_Mira

Localização								Usos				
Nome	Morada	Proprietário	Estado atual	Tipo de reabilitação	Área Implantação (m2)	Nº Pisos	Piso	Utilização atual	Descrição do uso	Ocupação	Utilização futura	Venda/ Aluguer
Z1_E01	Rua de Pinto Bessa nº1	Privado	Razoável a necessitar obras ligeiras	Ligeira	228	4	RC	Serviços	Café	Ocupado	Mesmos usos	
					228		1	Serviços	Loja	Ocupado		
					228		2	Serviços	Escritórios	Vago		
					228		3	S/ info	S/ info	S/ info		
Z1_E58	Rua da Estação nº108	Privado	Razoável a necessitar obras ligeiras - elementos deteriorados	Média	106	2	RC	Comércio	Loja	Ocupado	Mesmos usos	
					106		1	Habitação	Habitação	Ocupado		
Z1_E59	Rua da Estação nº106	Privado	Razoável a necessitar obras ligeiras - elementos deteriorados	Média	162	3	RC	Comércio	S/ info	Vago	Mesmos usos	
					162		1	Hotelaria	Hotelaria	Ocupado		
					162		2	Hotelaria	Hotelaria	Ocupado		
Z1_E60	Rua da Estação nº96	Privado	Bom -condições adequadas ao uso	Ligeira	102	3	RC	Comércio	Farmácia	Ocupado	Mesmos usos	
					102		1	Armazenagem	Armazém	Ocupado		
					102		2	Armazenagem	Armazém	Ocupado		
Z1_E61	Rua da Estação nº86	Privado	Razoável a necessitar obras ligeiras - elementos deteriorados	Média	163	3	RC	Serviços	Restaurante	Ocupado	Mesmos usos	
					163		1	Habitação	Habitação	Vago		Venda/ Aluguer
					163		2	Habitação	Habitação	Vago		



Z1_E62	Rua da Estação nº80	Privado	Razoável a necessitar obras ligeiras - elementos deteriorados	Média	200	3	RC	Serviços	Restaurante	Ocupado	Mesmos usos	
					200		1	Habitação	Habitação	Ocupado		
					200		2	Habitação	Habitação	Ocupado		
Z1_E63	Rua da Estação nº70	Privado	Razoável a necessitar obras ligeiras - elementos deteriorados	Média	138	3	RC	Serviços	Restaurante	Ocupado	Mesmos usos	
					138		1	Hotelaria	Hotelaria	Ocupado		
					138		2	Hotelaria	Hotelaria	Ocupado		
Z1_E64	Rua da Estação nº64	Privado	S/info	Ligeira	S/info	1	1	Comércio	Loja	Ocupado	Mesmos usos	
Z1_E65	Rua da Estação nº58	Privado	Razoável a necessitar obras ligeiras - elementos deteriorados	Média	202	3	RC	Serviços	Restaurante	Vago	Mesmos e novos usos	
					202		1	Habitação	Habitação	Ocupado		
					202		2	Habitação	Habitação	Ocupado		
Z1_E66	Rua da Estação nº54	Privado	Bom -condições adequadas ao uso	Ligeira	269	3	RC	Hotelaria	Hotelaria	Ocupado	Mesmos usos	
					269		1	Hotelaria	Hotelaria	Ocupado		
					269		2	Hotelaria	Hotelaria	Ocupado		
Z1_E67	Rua da Estação nº46	Privado	Bom -condições adequadas ao uso	Ligeira	230	3	RC	Serviços	Café	Ocupado	Mesmos usos	
					230		1	Hotelaria	Hotelaria	Ocupado		
					230		2	Hotelaria	Hotelaria	Ocupado		
Z1_E68	Rua da Estação nº38	Privado	Razoável a necessitar obras ligeiras - elementos deteriorados	Média	229	2	RC	Serviços	Café	Ocupado	Mesmos e novos usos	
					229		1	Armazenagem	Armazém	Ocupado		
Z1_E69		Privado		Ligeira	471	4	RC	Serviços	Café e Banco	Ocupado	Mesmos usos	
	Rua da Estação nº28		Razoável a necessitar obras ligeiras		471		1	Hotelaria	Hotelaria	Ocupado		
					471		2	Hotelaria	Hotelaria	Ocupado		
					471		3	Hotelaria	Hotelaria	Ocupado		
Z1_E70	Rua da Estação nº14	Privado	Razoável a necessitar obras ligeiras	Ligeira	137	4	RC	Serviços	Cervejaria e Agência	Ocupado	Mesmos usos	
					137		1	Serviços	Clínica	Ocupado		
					137		2	Habitação	Habitação	Parcial		Venda
					137		3	Habitação	Habitação	Parcial		
Z1_E72	Rua da Estação nº8	Privado	Razoável a necessitar de obras profundas - Elementos estruturais muito danificado	Profunda	141	4	RC	Comércio	S/ info	Vago	Reconversão em novos usos	
					141		1	Habitação	Habitação	Vago		
					141		2	Habitação	Habitação	Vago		
					141		3	Habitação	Habitação	Vago		

**Anexo V - Extração de quantidades e informações do modelo do existente**

Tabela 9. Extração de informações dos pisos existentes

<i>Schedule 1_Futuro</i>						
<i>Mass: Family</i>	<i>Level</i>	<i>Floor Area</i>	<i>Usage</i>	<i>Phase Created</i>	<i>Phase Demolished</i>	<i>Type of Rehabilitation</i>
Z1_E01	Z1_E01_P0	173 m <sup>2</sup>	Serviços	Existing	None	1
Z1_E01	Z1_E01_P1	173 m <sup>2</sup>	Serviços	Existing	None	1
Z1_E01	Z1_E01_P2	173 m <sup>2</sup>	Serviços	Existing	None	1
Z1_E01	Z1_E01_P3	173 m <sup>2</sup>	S/info	Existing	None	1
Z1_E01_A	Z1_E01_P4	71 m <sup>2</sup>	Habitação	Existing	None	1
Z1_E58	Z1_E58_P0	104 m <sup>2</sup>	Comércio	Existing	None	2
Z1_E58	Z1_E58_P1	104 m <sup>2</sup>	Habitação	Existing	None	2
Z1_E59	Z1_E59_P0	119 m <sup>2</sup>	Comércio	Existing	None	2
Z1_E59	Z1_E59_P1	119 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Existing	None	2
Z1_E59	Z1_E59_P2	119 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Existing	None	2
Z1_E60	Z1_E60_P0	96 m <sup>2</sup>	Comércio	Existing	None	1
Z1_E60	Z1_E60_P1	96 m <sup>2</sup>	Armazenagem	Existing	None	1
Z1_E60	Z1_E60_P2	96 m <sup>2</sup>	Armazenagem	Existing	None	1
Z1_E61	Z1_E61_P0	103 m <sup>2</sup>	Serviços	Existing	None	2
Z1_E61	Z1_E61_P1	103 m <sup>2</sup>	Habitação	Existing	None	2
Z1_E61	Z1_E61_P2	103 m <sup>2</sup>	Habitação	Existing	None	2
Z1_E61_A	Z1_E61_P0	54 m <sup>2</sup>	Habitação	Existing	None	2
Z1_E61_A	Z1_E61_P1	54 m <sup>2</sup>	Habitação	Existing	None	2
Z1_E62	Z1_E62_P0	117 m <sup>2</sup>	Serviços	Existing	None	2
Z1_E62	Z1_E62_P1	117 m <sup>2</sup>	Habitação	Existing	None	2
Z1_E62	Z1_E62_P2	117 m <sup>2</sup>	Habitação	Existing	None	2
Z1_E62_A	Z1_E62_P0	76 m <sup>2</sup>	Habitação	Existing	None	2
Z1_E62_A	Z1_E62_P1	76 m <sup>2</sup>	Habitação	Existing	None	2
Z1_E62_A	Z1_E62_P2	76 m <sup>2</sup>	Habitação	Existing	None	2
Z1_E63	Z1_E63_P0	185 m <sup>2</sup>	Serviços	Existing	None	2
Z1_E63	Z1_E63_P1	185 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Existing	None	2
Z1_E63	Z1_E63_P2	185 m <sup>2</sup>	Hotelaria	Existing	None	2
Z1_E63_PR	Z1_E63_PR	81 m <sup>2</sup>	Habitação	New Construction	None	4
Z1_E64	Z1_E64_P0	179 m <sup>2</sup>	Comércio	Existing	None	1
Z1_E64	Z1_E64_P1	179 m <sup>2</sup>	Habitação	New Construction	None	4
Z1_E64	Z1_E64_P2	179 m <sup>2</sup>	Habitação	New Construction	None	4
Z1_E65	Z1_E65_P0	199 m <sup>2</sup>	Serviços	Existing	None	4
Z1_E65	Z1_E65_P1	199 m <sup>2</sup>	Habitação	Existing	None	4
Z1_E65	Z1_E65_P2	199 m <sup>2</sup>	Habitação	Existing	None	4

Z1_E66	Z1_E66_P0	199 m <sup>2</sup>	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>	1
Z1_E66	Z1_E66_P1	199 m <sup>2</sup>	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>	1
Z1_E66	Z1_E66_P2	199 m <sup>2</sup>	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>	1
Z1_E66_A	Z1_E66_P0	63 m <sup>2</sup>	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>	2
Z1_E66_A	Z1_E66_P1	63 m <sup>2</sup>	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>	2
Z1_E66_PR	Z1_E66_PR	88 m <sup>2</sup>	Habitação	<i>New Construction</i>	<i>None</i>	4
Z1_E67_PR	Z1_E67_PR	76 m <sup>2</sup>	Habitação	<i>New Construction</i>	<i>None</i>	4
Z1_E67	Z1_E67_P0	172 m <sup>2</sup>	Serviços	<i>Existing</i>	<i>None</i>	1
Z1_E67	Z1_E67_P1	172 m <sup>2</sup>	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>	1
Z1_E67	Z1_E67_P2	172 m <sup>2</sup>	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>	1
Z1_E67_A	Z1_E67_P0	55 m <sup>2</sup>	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>	2
Z1_E67_A	Z1_E67_P1	55 m <sup>2</sup>	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>	2
Z1_E68	Z1_E68_P0	196 m <sup>2</sup>	Serviços	<i>Existing</i>	<i>None</i>	2
Z1_E68	Z1_E68_P1	196 m <sup>2</sup>	Armazenagem	<i>Existing</i>	<i>None</i>	2
Z1_E68	Z1_E68_P2	196 m <sup>2</sup>	Habitação	<i>New Construction</i>	<i>None</i>	4
Z1_E68	Z1_E68_P3	196 m <sup>2</sup>	Habitação	<i>New Construction</i>	<i>None</i>	4
Z1_E69	Z1_E69_P0	301 m <sup>2</sup>	Serviços	<i>Existing</i>	<i>None</i>	1
Z1_E69	Z1_E69_P1	301 m <sup>2</sup>	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>	1
Z1_E69	Z1_E69_P2	301 m <sup>2</sup>	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>	1
Z1_E69	Z1_E69_P3	301 m <sup>2</sup>	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>	1
Z1_E69_A	Z1_E69_P0	62 m <sup>2</sup>	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>	1
Z1_E69_A	Z1_E69_P1	62 m <sup>2</sup>	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>	1
Z1_E69_C	Z1_E69_P0	21 m <sup>2</sup>	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>	1
Z1_E69_D	Z1_E69_P0	39 m <sup>2</sup>	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>	1
Z1_E69_B	Z1_E69_P1	55 m <sup>2</sup>	Hotelaria	<i>Existing</i>	<i>None</i>	1
Z1_E70	Z1_E70_P0	142 m <sup>2</sup>	Serviços	<i>Existing</i>	<i>None</i>	2
Z1_E70	Z1_E70_P1	142 m <sup>2</sup>	Serviços	<i>Existing</i>	<i>None</i>	2
Z1_E70	Z1_E70_P2	142 m <sup>2</sup>	Habitação	<i>Existing</i>	<i>None</i>	2
Z1_E70	Z1_E70_P3	142 m <sup>2</sup>	Habitação	<i>Existing</i>	<i>None</i>	2
Z1_E72	Z1_E72_P0	128 m <sup>2</sup>	Comércio	<i>Existing</i>	<i>None</i>	3
Z1_E72	Z1_E72_P1	128 m <sup>2</sup>	Escritórios	<i>New Construction</i>	<i>None</i>	3
Z1_E72	Z1_E72_P2	128 m <sup>2</sup>	Escritórios	<i>New Construction</i>	<i>None</i>	3
Z1_E72	Z1_E72_P3	128 m <sup>2</sup>	Escritórios	<i>New Construction</i>	<i>None</i>	3

## **Anexo VI - Cálculo do valor de reabilitação e do valor de rentabilidade**

Tabela 10. Cálculo do valor de reabilitação e do valor de rentabilidade da venda de imóveis e aluguer de imóveis



VENDA DE IMÓVEIS REABILITADOS			Área de análise: Z1_Mira, Campanhã															
Morada	Edifício	Piso	Área do piso	Uso Atual	Uso Futuro	Fase	Tipo de Reabilitação	Custo de compra/ m²	Custo de compra/ piso	Custo de Reabilitação/m²	Custo de Reabilitação/ Piso	Custo Total	Preço de Venda/ piso	Preço de Venda/ Edifício	Rentabilidade/ piso	Rentabilidade/ edifício	Rentabilidade/ m²	
Rua de Pinto Bessa nº1	Z1_E01	Z1_E01_P0	173.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	1	1 050.00 €/ m²	181 650.00 €	300.00 €/m²	51 900.00 €	1 047 350.00 €	302 750.00 €	1 335 250.00 €	69 200.00 €	287 900.00 €	400.00 €/m²	
Rua de Pinto Bessa nº1	Z1_E01	Z1_E01_P1	173.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	1	1 050.00 €/ m²	181 650.00 €	400.00 €/m²	69 200.00 €		302 750.00 €				300.00 €/m²	
Rua de Pinto Bessa nº1	Z1_E01	Z1_E01_P2	173.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	1	1 050.00 €/ m²	181 650.00 €	300.00 €/m²	51 900.00 €		302 750.00 €				400.00 €/m²	
Rua de Pinto Bessa nº1	Z1_E01	Z1_E01_P3	173.00 m²	S/info	Habitação	Existente	1	1 050.00 €/ m²	181 650.00 €	300.00 €/m²	51 900.00 €		302 750.00 €				400.00 €/m²	
Rua de Pinto Bessa nº1	Z1_E01_A	Z1_E01_P4	71.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	1	1 050.00 €/ m²	74 550.00 €	300.00 €/m²	21 300.00 €		124 250.00 €				400.00 €/m²	
Rua da Estação nº108	Z1_E58	Z1_E58_P0	104.00 m²	Comércio	Comércio	Existente	2	1 050.00 €/ m²	109 200.00 €	400.00 €/m²	41 600.00 €	301 600.00 €	182 000.00 €	364 000.00 €	31 200.00 €	62 400.00 €	300.00 €/m²	
Rua da Estação nº108	Z1_E58	Z1_E58_P1	104.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	1 050.00 €/ m²	109 200.00 €	400.00 €/m²	41 600.00 €	182 000.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº108	Z1_E59	Z1_E59_P0	119.00 m²	Comércio	Comércio	Existente	2	1 050.00 €/ m²	124 950.00 €	400.00 €/m²	47 600.00 €	208 250.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº106	Z1_E59	Z1_E59_P1	119.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	2	1 050.00 €/ m²	124 950.00 €	400.00 €/m²	47 600.00 €	208 250.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº106	Z1_E59	Z1_E59_P2	119.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	2	1 050.00 €/ m²	124 950.00 €	400.00 €/m²	47 600.00 €	208 250.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº96	Z1_E60	Z1_E60_P0	96.00 m²	Comércio	Comércio	Existente	1	1 050.00 €/ m²	100 800.00 €	300.00 €/m²	28 800.00 €	388 800.00 €	168 000.00 €	504 000.00 €	38 400.00 €	115 200.00 €	400.00 €/m²	
Rua da Estação nº96	Z1_E60	Z1_E60_P1	96.00 m²	Armazenagem	Armazenagem	Existente	1	1 050.00 €/ m²	100 800.00 €	300.00 €/m²	28 800.00 €	168 000.00 €	400.00 €/m²					
Rua da Estação nº96	Z1_E60	Z1_E60_P2	96.00 m²	Armazenagem	Armazenagem	Existente	1	1 050.00 €/ m²	100 800.00 €	300.00 €/m²	28 800.00 €	168 000.00 €	400.00 €/m²					
Rua da Estação nº86	Z1_E61	Z1_E61_P0	103.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	2	1 050.00 €/ m²	108 150.00 €	400.00 €/m²	41 200.00 €	180 250.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº86	Z1_E61	Z1_E61_P1	103.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	1 050.00 €/ m²	108 150.00 €	400.00 €/m²	41 200.00 €	180 250.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº86	Z1_E61	Z1_E61_P2	103.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	1 050.00 €/ m²	108 150.00 €	400.00 €/m²	41 200.00 €	180 250.00 €	300.00 €/m²	729 750.00 €	30 900.00 €	125 100.00 €	300.00 €/m²	
Rua da Estação nº86	Z1_E61_A	Z1_E61_P3	54.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	1 050.00 €/ m²	56 700.00 €	400.00 €/m²	21 600.00 €	94 500.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº86	Z1_E61_A	Z1_E61_P1	54.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	1 050.00 €/ m²	56 700.00 €	400.00 €/m²	21 600.00 €	94 500.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº80	Z1_E62	Z1_E62_P0	117.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	2	1 050.00 €/ m²	122 850.00 €	400.00 €/m²	46 800.00 €	204 750.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº80	Z1_E62	Z1_E62_P1	117.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	1 050.00 €/ m²	122 850.00 €	400.00 €/m²	46 800.00 €	204 750.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº80	Z1_E62_A	Z1_E62_P0	76.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	1 050.00 €/ m²	79 800.00 €	400.00 €/m²	30 400.00 €	839 550.00 €	204 750.00 €	1 013 250.00 €	22 800.00 €	173 700.00 €	300.00 €/m²	
Rua da Estação nº80	Z1_E62_A	Z1_E62_P1	76.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	1 050.00 €/ m²	79 800.00 €	400.00 €/m²	30 400.00 €	133 000.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº80	Z1_E62_A	Z1_E62_P2	76.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	1 050.00 €/ m²	79 800.00 €	400.00 €/m²	30 400.00 €	133 000.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº80	Z1_E62_A	Z1_E62_P3	76.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	1 050.00 €/ m²	79 800.00 €	400.00 €/m²	30 400.00 €	133 000.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº70	Z1_E63	Z1_E63_P0	185.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	2	1 050.00 €/ m²	194 250.00 €	400.00 €/m²	74 000.00 €	938 400.00 €	323 750.00 €				1 113 000.00 €	55 500.00 €
Rua da Estação nº70	Z1_E63	Z1_E63_P1	185.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	2	1 050.00 €/ m²	194 250.00 €	400.00 €/m²	74 000.00 €	323 750.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº70	Z1_E63	Z1_E63_P2	185.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	2	1 050.00 €/ m²	194 250.00 €	400.00 €/m²	74 000.00 €	323 750.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº70	Z1_E63_PR	Z1_E63_PR	81.00 m²	Habitação	Construção Nova	4	1 050.00 €/ m²	85 050.00 €	600.00 €/m²	48 600.00 €	141 750.00 €	100.00 €/m²						
Rua da Estação nº64	Z1_E64	Z1_E64_P0	179.00 m²	Comércio	Comércio	Existente	1	1 050.00 €/ m²	187 950.00 €	400.00 €/m²	71 600.00 €	1 178 600.00 €	313 250.00 €	1 288 000.00 €	53 700.00 €	238 850.00 €		
Rua da Estação nº64	Z1_E64	Z1_E64_P1	179.00 m²	Habitação	Habitação	Construção Nova	4	1 050.00 €/ m²	187 950.00 €	600.00 €/m²	107 400.00 €	313 250.00 €	100.00 €/m²					
Rua da Estação nº64	Z1_E64	Z1_E64_P2	179.00 m²	Habitação	Habitação	Construção Nova	4	1 050.00 €/ m²	187 950.00 €	600.00 €/m²	107 400.00 €	313 250.00 €	100.00 €/m²					
Rua da Estação nº58	Z1_E65	Z1_E65_P0	199.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	4	1 050.00 €/ m²	208 950.00 €	600.00 €/m²	119 400.00 €	348 250.00 €	19 900.00 €				59 700.00 €	100.00 €/m²
Rua da Estação nº58	Z1_E65	Z1_E65_P1	199.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	4	1 050.00 €/ m²	208 950.00 €	600.00 €/m²	119 400.00 €	348 250.00 €	19 900.00 €				59 700.00 €	100.00 €/m²
Rua da Estação nº58	Z1_E65	Z1_E65_P2	199.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	4	1 050.00 €/ m²	208 950.00 €	600.00 €/m²	119 400.00 €	348 250.00 €	19 900.00 €	1 044 750.00 €	19 900.00 €	59 700.00 €	100.00 €/m²	
Rua da Estação nº54	Z1_E66	Z1_E66_P0	199.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	1 050.00 €/ m²	208 950.00 €	300.00 €/m²	59 700.00 €	348 250.00 €	79 600.00 €				400.00 €/m²	
Rua da Estação nº54	Z1_E66	Z1_E66_P1	199.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	1 050.00 €/ m²	208 950.00 €	300.00 €/m²	59 700.00 €	348 250.00 €	79 600.00 €				400.00 €/m²	
Rua da Estação nº54	Z1_E66	Z1_E66_P2	199.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	1 050.00 €/ m²	208 950.00 €	300.00 €/m²	59 700.00 €	348 250.00 €	79 600.00 €				400.00 €/m²	
Rua da Estação nº54	Z1_E66_A	Z1_E66_P3	63.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	2	1 050.00 €/ m²	66 150.00 €	400.00 €/m²	25 200.00 €	1 133 850.00 €	110 250.00 €				1 419 250.00 €	18 900.00 €
Rua da Estação nº54	Z1_E66_A	Z1_E66_P1	63.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	2	1 050.00 €/ m²	66 150.00 €	400.00 €/m²	25 200.00 €	110 250.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº54	Z1_E66_PR	Z1_E66_PR	88.00 m²	Habitação	Construção Nova	4	1 050.00 €/ m²	92 400.00 €	600.00 €/m²	52 800.00 €	154 000.00 €	100.00 €/m²						
Rua da Estação nº54	Z1_E67_PR	Z1_E67_PR	76.00 m²	Habitação	Construção Nova	4	1 050.00 €/ m²	79 800.00 €	600.00 €/m²	45 600.00 €	133 000.00 €	100.00 €/m²						
Rua da Estação nº46	Z1_E67	Z1_E67_P0	172.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	1	1 050.00 €/ m²	180 600.00 €	300.00 €/m²	51 600.00 €	981 500.00 €	301 000.00 €	1 228 500.00 €	68 800.00 €	247 000.00 €		
Rua da Estação nº46	Z1_E67	Z1_E67_P1	172.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	1 050.00 €/ m²	180 600.00 €	300.00 €/m²	51 600.00 €	301 000.00 €	400.00 €/m²					
Rua da Estação nº46	Z1_E67_A	Z1_E67_P0	55.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	2	1 050.00 €/ m²	57 750.00 €	400.00 €/m²	22 000.00 €	96 250.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº46	Z1_E67_A	Z1_E67_P1	55.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	2	1 050.00 €/ m²	57 750.00 €	400.00 €/m²	22 000.00 €	96 250.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº38	Z1_E68	Z1_E68_P0	196.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	2	1 050.00 €/ m²	205 800.00 €	400.00 €/m²	78 400.00 €	1 215 200.00 €	343 000.00 €				1 372 000.00 €	58 800.00 €
Rua da Estação nº38	Z1_E68	Z1_E68_P1	196.00 m²	Armazenagem	Armazenagem	Existente	2	1 050.00 €/ m²	205 800.00 €	400.00 €/m²	78 400.00 €	343 000.00 €	300.00 €/m²					
Rua da Estação nº38	Z1_E68	Z1_E68_P2	196.00 m²	Habitação	Construção Nova	4	1 050.00 €/ m²	205 800.00 €	600.00 €/m²	117 600.00 €	343 000.00 €	100.00 €/m²						
Rua da Estação nº38	Z1_E68	Z1_E68_P3	196.00 m²	Habitação	Construção Nova	4	1 050.00 €/ m²	205 800.00 €	600.00 €/m²	117 600.00 €	343 000.00 €	100.00 €/m²						
Rua da Estação nº28	Z1_E69	Z1_E69_P0	301.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	1	1 050.00 €/ m²	316 050.00 €	300.00 €/m²	90 300.00 €	1 948 050.00 €	526 750.00 €	2 525 250.00 €	120 400.00 €	577 200.00 €		
Rua da Estação nº28	Z1_E69	Z1_E69_P1	301.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	1 050.00 €/ m²	316 050.00 €	300.00 €/m²	90 300.00 €	526 750.00 €	400.00 €/m²					
Rua da Estação nº28	Z1_E69	Z1_E69_P2	301.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	1 050.00 €/ m²	316 050.00 €	300.00 €/m²	90 300.00 €	526 750.00 €	400.00 €/m²					
Rua da Estação nº28	Z1_E69	Z1_E69_P3	301.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	1 050.00 €/ m²	316 050.00 €	300.00 €/m²	90 300.00 €	526 750.00 €	400.00 €/m²					
Rua da Estação nº28	Z1_E69_A	Z1_E69_P0	62.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	1 050.00 €/ m²	65 100.00 €	300.00 €/m²	18 600.00 €	1 948 050.00 €	108 500.00 €				2 525 250.00 €	24 800.00 €
Rua da Estação nº28	Z1_E69_A	Z1_E69_P1	62.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	1 050.00 €/ m²	65 100.00 €	300.00 €/m²	18 600.00 €	108 500.00 €	400.00 €/m²					
Rua da Estação nº28	Z1_E69_C	Z1_E69_P0	21.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	1 050.00 €/ m²	22 050.00 €	300.00 €/m²	6 300.00 €	36 750.00 €	400.00 €/m²					
Rua da Estação nº28	Z1_E69_D	Z1_E69_P0	39.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	1 050.00 €/ m²	40 950.00 €	300.00 €/m²	11 700.00 €	68 250.00 €	15 600.00 €	400.00 €/m²				
Rua da Estação nº28	Z1_E69_B	Z1_E69_P1	55.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	1 050.00 €/ m²	57 750.00 €	300.00 €/m²	16 500.00 €	96 250.00 €	22 000.00 €	400.00 €/m²				
Rua da Estação nº14	Z1_E70	Z1_E70_P0	142.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	2	1 050.00 €/ m²	149 100.00 €	400.00 €/m²	56 800.00 €	823 600.00 €	248 500.00 €	994 000.00 €	42 600.00 €	170 400.00 €	300.00 €/m²	
Rua da Estação nº14	Z1_E70	Z1_E70_P1	142.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	2	1 050.00 €/ m²	149 100.00 €	400.00 €/m²	56 800.00 €	248 500.00 €	42 600.00 €				300.00 €/m²	
Rua da Estação nº14	Z1_E70	Z1_E70_P2	142.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	1 050.00 €/ m²	149 100.00 €	400.00 €/m²	56 800.00 €	248 500.00 €	42 600.00 €				300.00 €/m²	
Rua da Estação nº14	Z1_E70	Z1_E70_P3	142.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	1 050.00 €/ m²	149 100.00 €	400.00 €/m²	56 800.00 €	248 500.00 €	42 600.00 €				300.00 €/m²	
Rua da Estação nº8	Z1_E72	Z1_E72_P0	128.00 m²	Comércio	Comércio	Existente	3	1 050.00 €/ m²	134 400.00 €	500.00 €/m²	64 000.00 €	793 600.00 €	224 000.00 €				896 000.00 €	

ALUGUER DE IMÓVEIS REABILITADOS				Área de análise: Z1_Mira, Campanhã											
Morada	Edifício	Piso	Área do piso	Uso Atual	Uso Futuro	Fase	Tipo de Reabilitação	Custo de Reabilitação/ m²	Custo de Reabilitação/ Piso	Área útil	Preço Aluguer/m²/mês	Aluguer/ Piso	Ao fim de 10 anos	Rentabilidade do Aluguer (ao fim de 5 anos)	Rentabilidade/ m²
Rua de Pinto Bessa nº1	Z1_E01	Z1_E01_P0	173.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	1	300.00 €/m³	51 900.00 €	155.70 m²	4.10 €/ m²/ mês	638.37 €/mês	76 604.40 €	24 704.40 €	142.80 €/m²
Rua de Pinto Bessa nº1	Z1_E01	Z1_E01_P1	173.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	1	400.00 €/m³	69 200.00 €	155.70 m²	4.10 €/ m²/ mês	638.37 €/mês	76 604.40 €	7 404.40 €	42.80 €/m²
Rua de Pinto Bessa nº1	Z1_E01	Z1_E01_P2	173.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	1	300.00 €/m³	51 900.00 €	155.70 m²	4.10 €/ m²/ mês	638.37 €/mês	76 604.40 €	24 704.40 €	142.80 €/m²
Rua de Pinto Bessa nº1	Z1_E01	Z1_E01_P3	173.00 m²	S/info	S/info	Existente	1	300.00 €/m³	51 900.00 €	155.70 m²	4.10 €/ m²/ mês	638.37 €/mês	76 604.40 €	24 704.40 €	142.80 €/m²
Rua de Pinto Bessa nº1	Z1_E01_A	Z1_E01_P4	71.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	1	300.00 €/m³	21 300.00 €	63.90 m²	9.00 €/ m²/ mês	575.10 €/mês	69 012.00 €	47 712.00 €	672.00 €/m²
Rua da Estação nº108	Z1_E58	Z1_E58_P0	104.00 m²	Comércio	Comércio	Existente	2	400.00 €/m³	41 600.00 €	93.60 m²	4.10 €/ m²/ mês	383.76 €/mês	46 051.20 €	4 451.20 €	42.80 €/m²
Rua da Estação nº108	Z1_E58	Z1_E58_P1	104.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	400.00 €/m³	41 600.00 €	93.60 m²	9.00 €/ m²/ mês	842.40 €/mês	101 088.00 €	59 488.00 €	572.00 €/m²
Rua da Estação nº108	Z1_E59	Z1_E59_P0	119.00 m²	Comércio	Comércio	Existente	2	400.00 €/m³	47 600.00 €	107.10 m²	4.10 €/ m²/ mês	439.11 €/mês	52 693.20 €	5 093.20 €	42.80 €/m²
Rua da Estação nº106	Z1_E59	Z1_E59_P1	119.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	2	400.00 €/m³	47 600.00 €	107.10 m²					
Rua da Estação nº106	Z1_E59	Z1_E59_P2	119.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	2	400.00 €/m³	47 600.00 €	107.10 m²					
Rua da Estação nº96	Z1_E60	Z1_E60_P0	96.00 m²	Comércio	Comércio	Existente	1	300.00 €/m³	28 800.00 €	86.40 m²	4.10 €/ m²/ mês	354.24 €/mês	42 508.80 €	13 708.80 €	142.80 €/m²
Rua da Estação nº96	Z1_E60	Z1_E60_P1	96.00 m²	Armazenagem	Armazenagem	Existente	1	300.00 €/m³	28 800.00 €	86.40 m²	2.70 €/ m²/ mês	233.28 €/mês	27 993.60 €	806.40 €	8.40 €
Rua da Estação nº96	Z1_E60	Z1_E60_P2	96.00 m²	Armazenagem	Armazenagem	Existente	1	300.00 €/m³	28 800.00 €	86.40 m²	2.70 €/ m²/ mês	233.28 €/mês	27 993.60 €	806.40 €	8.40 €
Rua da Estação nº86	Z1_E61	Z1_E61_P0	103.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	2	400.00 €/m³	41 200.00 €	92.70 m²	4.10 €/ m²/ mês	380.07 €/mês	45 608.40 €	4 408.40 €	42.80 €/m²
Rua da Estação nº86	Z1_E61	Z1_E61_P1	103.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	400.00 €/m³	41 200.00 €	92.70 m²	9.00 €/ m²/ mês	834.30 €/mês	100 116.00 €	58 916.00 €	572.00 €/m²
Rua da Estação nº86	Z1_E61	Z1_E61_P2	103.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	400.00 €/m³	41 200.00 €	92.70 m²	9.00 €/ m²/ mês	834.30 €/mês	100 116.00 €	58 916.00 €	572.00 €/m²
Rua da Estação nº86	Z1_E61_A	Z1_E61_P0	54.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	400.00 €/m³	21 600.00 €	48.60 m²	9.00 €/ m²/ mês	437.40 €/mês	52 488.00 €	30 888.00 €	572.00 €/m²
Rua da Estação nº86	Z1_E61_A	Z1_E61_P1	54.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	400.00 €/m³	21 600.00 €	48.60 m²	9.00 €/ m²/ mês	437.40 €/mês	52 488.00 €	30 888.00 €	572.00 €/m²
Rua da Estação nº80	Z1_E62	Z1_E62_P0	117.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	2	400.00 €/m³	46 800.00 €	105.30 m²	4.10 €/ m²/ mês	431.73 €/mês	51 807.60 €	5 007.60 €	42.80 €/m²
Rua da Estação nº80	Z1_E62	Z1_E62_P1	117.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	400.00 €/m³	46 800.00 €	105.30 m²	9.00 €/ m²/ mês	947.70 €/mês	113 724.00 €	66 924.00 €	572.00 €/m²
Rua da Estação nº80	Z1_E62_A	Z1_E62_P0	76.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	400.00 €/m³	30 400.00 €	68.40 m²	9.00 €/ m²/ mês	615.60 €/mês	73 872.00 €	43 472.00 €	572.00 €/m²
Rua da Estação nº80	Z1_E62_A	Z1_E62_P1	76.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	400.00 €/m³	30 400.00 €	68.40 m²	9.00 €/ m²/ mês	615.60 €/mês	73 872.00 €	43 472.00 €	572.00 €/m²
Rua da Estação nº70	Z1_E63	Z1_E63_P0	185.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	2	400.00 €/m³	74 000.00 €	166.50 m²	9.00 €/ m²/ mês	1 498.50 €/mês	179 820.00 €	105 820.00 €	572.00 €/m²
Rua da Estação nº70	Z1_E63	Z1_E63_P1	185.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	2	400.00 €/m³	74 000.00 €	166.50 m²					
Rua da Estação nº70	Z1_E63	Z1_E63_P2	185.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	2	400.00 €/m³	74 000.00 €	166.50 m²					
Rua da Estação nº70	Z1_E63_PR	Z1_E63_PR	81.00 m²	Habitação	Construção Nova	4	600.00 €/m³	48 600.00 €	72.90 m²	9.00 €/ m²/ mês	656.10 €/mês	78 732.00 €	30 132.00 €	372.00 €/m²	
Rua da Estação nº64	Z1_E64	Z1_E64_P0	179.00 m²	Comércio	Comércio	Existente	1	400.00 €/m³	71 600.00 €	161.10 m²	4.10 €/ m²/ mês	660.51 €/mês	79 261.20 €	7 661.20 €	42.80 €/m²
Rua da Estação nº64	Z1_E64	Z1_E64_P1	179.00 m²	Habitação	Habitação	Construção Nova	4	600.00 €/m³	107 400.00 €	161.10 m²	9.00 €/ m²/ mês	1 449.90 €/mês	173 988.00 €	66 588.00 €	372.00 €/m²
Rua da Estação nº64	Z1_E64	Z1_E64_P2	179.00 m²	Habitação	Construção Nova	4	600.00 €/m³	107 400.00 €	161.10 m²	9.00 €/ m²/ mês	1 449.90 €/mês	173 988.00 €	66 588.00 €	372.00 €/m²	
Rua da Estação nº58	Z1_E65	Z1_E65_P0	199.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	4	600.00 €/m³	119 400.00 €	179.10 m²	4.10 €/ m²/ mês	734.31 €/mês	88 117.20 €	31 282.80 €	157.20 €
Rua da Estação nº58	Z1_E65	Z1_E65_P1	199.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	4	600.00 €/m³	119 400.00 €	179.10 m²	9.00 €/ m²/ mês	1 611.90 €/mês	193 428.00 €	74 028.00 €	372.00 €/m²
Rua da Estação nº58	Z1_E65	Z1_E65_P2	199.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	4	600.00 €/m³	119 400.00 €	179.10 m²	9.00 €/ m²/ mês	1 611.90 €/mês	193 428.00 €	74 028.00 €	372.00 €/m²
Rua da Estação nº54	Z1_E66	Z1_E66_P0	199.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	300.00 €/m³	59 700.00 €	179.10 m²					
Rua da Estação nº54	Z1_E66	Z1_E66_P1	199.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	300.00 €/m³	59 700.00 €	179.10 m²					
Rua da Estação nº54	Z1_E66	Z1_E66_P2	199.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	300.00 €/m³	59 700.00 €	179.10 m²					
Rua da Estação nº54	Z1_E66_A	Z1_E66_P0	63.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	2	400.00 €/m³	25 200.00 €	56.70 m²					
Rua da Estação nº54	Z1_E66_A	Z1_E66_P1	63.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	2	400.00 €/m³	25 200.00 €	56.70 m²					
Rua da Estação nº54	Z1_E66_PR	Z1_E66_PR	88.00 m²		Habitação	Construção Nova	4	600.00 €/m³	52 800.00 €	79.20 m²	9.00 €/ m²/ mês	712.80 €/mês	85 536.00 €	32 736.00 €	372.00 €/m²
Rua da Estação nº54	Z1_E67_PR	Z1_E67_PR	76.00 m²		Habitação	Construção Nova	4	600.00 €/m³	45 600.00 €	68.40 m²	9.00 €/ m²/ mês	73 872.00 €	28 272.00 €	372.00 €/m²	
Rua da Estação nº46	Z1_E67	Z1_E67_P0	172.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	1	300.00 €/m³	51 600.00 €	154.80 m²	4.10 €/ m²/ mês	634.68 €/mês	76 161.60 €	24 561.60 €	142.80 €/m²
Rua da Estação nº46	Z1_E67	Z1_E67_P1	172.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	300.00 €/m³	51 600.00 €	154.80 m²					
Rua da Estação nº46	Z1_E67	Z1_E67_P2	172.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	300.00 €/m³	51 600.00 €	154.80 m²					
Rua da Estação nº46	Z1_E67_A	Z1_E67_P0	55.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	2	400.00 €/m³	22 000.00 €	49.50 m²					
Rua da Estação nº46	Z1_E67_A	Z1_E67_P1	55.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	2	400.00 €/m³	22 000.00 €	49.50 m²					
Rua da Estação nº38	Z1_E68	Z1_E68_P0	196.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	2	400.00 €/m³	78 400.00 €	176.40 m²	4.10 €/ m²/ mês	723.24 €/mês	86 788.80 €	8 388.80 €	42.80 €/m²
Rua da Estação nº38	Z1_E68	Z1_E68_P1	196.00 m²	Armazenagem	Armazenagem	Existente	2	400.00 €/m³	78 400.00 €	176.40 m²	2.70 €/ m²/ mês	476.28 €/mês	57 153.60 €	21 246.40 €	108.40 €
Rua da Estação nº38	Z1_E68	Z1_E68_P2	196.00 m²	Habitação	Construção Nova	4	600.00 €/m³	117 600.00 €	176.40 m²	9.00 €/ m²/ mês	1 587.60 €/mês	190 512.00 €	72 912.00 €	372.00 €/m²	
Rua da Estação nº38	Z1_E68	Z1_E68_P3	196.00 m²	Habitação	Construção Nova	4	600.00 €/m³	117 600.00 €	176.40 m²	9.00 €/ m²/ mês	1 587.60 €/mês	190 512.00 €	72 912.00 €	372.00 €/m²	
Rua da Estação nº28	Z1_E69	Z1_E69_P0	301.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	1	300.00 €/m³	90 300.00 €	270.90 m²	4.10 €/ m²/ mês	1 110.69 €/mês	133 282.80 €	42 982.80 €	142.80 €/m²
Rua da Estação nº28	Z1_E69	Z1_E69_P1	301.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	300.00 €/m³	90 300.00 €	270.90 m²					
Rua da Estação nº28	Z1_E69	Z1_E69_P2	301.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	300.00 €/m³	90 300.00 €	270.90 m²					
Rua da Estação nº28	Z1_E69	Z1_E69_P3	301.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	300.00 €/m³	90 300.00 €	270.90 m²					
Rua da Estação nº28	Z1_E69_A	Z1_E69_P0	62.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	300.00 €/m³	18 600.00 €	55.80 m²					
Rua da Estação nº28	Z1_E69_A	Z1_E69_P1	62.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	300.00 €/m³	18 600.00 €	55.80 m²					
Rua da Estação nº28	Z1_E69_C	Z1_E69_P0	21.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	300.00 €/m³	6 300.00 €	18.90 m²					
Rua da Estação nº28	Z1_E69_D	Z1_E69_P0	39.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	300.00 €/m³	11 700.00 €	35.10 m²					
Rua da Estação nº28	Z1_E69_B	Z1_E69_P1	55.00 m²	Hotelaria	Hotelaria	Existente	1	300.00 €/m³	16 500.00 €	49.50 m²					
Rua da Estação nº14	Z1_E70	Z1_E70_P0	142.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	2	400.00 €/m³	56 800.00 €	127.80 m²	4.10 €/ m²/ mês	523.98 €/mês	62 877.60 €	6 077.60 €	42.80 €/m²
Rua da Estação nº14	Z1_E70	Z1_E70_P1	142.00 m²	Serviços	Serviços	Existente	2	400.00 €/m³	56 800.00 €	127.80 m²	4.10 €/ m²/ mês	523.98 €/mês	62 877.60 €	6 077.60 €	42.80 €/m²
Rua da Estação nº14	Z1_E70	Z1_E70_P2	142.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	400.00 €/m³	56 800.00 €	127.80 m²	9.00 €/ m²/ mês	1 150.20 €/mês	138 024.00 €	81 224.00 €	572.00 €/m²
Rua da Estação nº14	Z1_E70	Z1_E70_P3	142.00 m²	Habitação	Habitação	Existente	2	400.00 €/m³	56 800.00 €	127.80 m²	9.00 €/ m²/ mês				